

Vysoká Škola Báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

## **Úprava servisního jeřábu vrtné soupravy LOC 400**

### **Modification of the LOC 400 Service Crane**

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

Student :

Bc. Lech Zawadzki

Ostrava 2012

**Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....  
podpis studenta

**Prohlašuji, že:**

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě .....

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Lech Zawadzki

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Střítež 15, 739 59

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

ZAWADZKI, L. *Úprava servisního jeřábu vrtné soupravy LOC 400 : diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, 2012, 45 s. Vedoucí práce: Fries, J.

Diplomová práce se zabývá úpravou servisního jeřábu vrtné soupravy LOC 400, zejména jeho prodloužením o 1 m dosahu při zachování nosnosti 6t . Úvodem je krátké seznámení s vrtnou soupravou LOC 400. V další části je uveden návrh řešení výložníku servisního jeřábu s ohledem na fakt, že délka výložníku ve stavu přepravy musí být zachována. Dále je zpracován rozbor zátěžných sil a určení reakcí. Z reakcí jsou určeny požadované vlastnosti nosných ložisek sloužících pro uložení výložníku v podstavci. Ve výpočtové části je podrobná pevnostní kontrola navržených součástí.

## ANOTATION OF MASTER THESIS

ZAWADZKI, L. *Modification of the LOC 400 Service Crane : Master thesis*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, 2012, 45 p. Supervisor Fries, J.

This thesis deals with the modification of the LOC 400 Service Crane, particularly with extensioning the range by 1 m while maintaining the capacity of 6 tons. First of all is a brief introduction to the drill rig LOC 400. The next section provides a design solution of the service crane boom, considering the fact that the length of the boom must be maintained for transport. Thesis continues with calculations of stress forces and reactions. From reaction, a desired properties of load-bearings are determined. In the calculation part of thesis, the designed parts are checked.

## Obsah diplomové práce

### Seznam použitého značení

1	ÚVOD .....	11
2	Vrtná souprava LOC 400 .....	12
3	Návrh řešení jeřábu .....	17
4	Návrh a kontrola kratší částí výložníku .....	20
4.1	Parametry zatížení.....	20
4.2	Rozměry .....	20
4.3	Výpočty.....	21
4.3.1	Zatížení .....	21
4.3.2	Výpočet reakcí .....	22
4.3.3	Kontrola čepu spojujícího kratší část výložníku s hlavní částí výložníku .....	24
4.3.4	Kontrola ok pro uchycení čepu v programu IMEP .....	29
4.4	Kontrola kratší části výložníku metodou konečných prvků .....	32
4.4.1	Vstupní hodnoty pro pevnostní analýzu .....	32
4.4.2	Výstupní hodnoty pevnostní analýzy .....	33
5	Návrh a kontrola výložníku .....	35
5.1	Parametry zatížení.....	35
5.2	Rozměry.....	35
5.3	Výpočty.....	36
5.3.1	Zatížení .....	36
5.3.2	Kontrola výložníku v místě A.....	40
5.3.3	Kontrola výložníku v místě B .....	44
5.3.4	Kontrola výložníku v místě C .....	50
5.3.5	Kontrola výložníku v místě D.....	52
5.3.6	Kontrola ok, pro uchycení čepu, v programu IMEP .....	54
5.4	Kontrola výložníku metodou konečných prvků.....	56
5.4.1	Vstupní hodnoty pro pevnostní analýzu .....	56
6	Návrh a kontrola podstavce výložníku .....	59
6.1	Parametry zatížení.....	59
6.2	Rozměry.....	59
6.3	Výpočty.....	61
6.3.1	Zatížení .....	61
6.3.2	Reakce v ložiscích .....	62
6.3.3	Kontrola podstavce v místě A – A .....	63
6.3.4	Kontrola podstavce v místě B – B .....	66
6.3.5	Kontrola podstavce v místě C – C .....	67

6.3.6	Kontrola ložisek podstavce .....	70
7	Kontrola čepů a nosných ok podstavce .....	71
7.1	Parametry zatížení .....	71
7.2	Rozměry .....	71
7.3	Výpočty .....	72
7.3.1	Reakce v čepech .....	72
7.3.2	Kontrola pevného čepu podstavce .....	74
7.3.3	Kontrola oka pro uložení ložiska .....	77
8	Závěr .....	79
9	Seznam použitých pramenů .....	80
10	Seznam výkresové dokumentace .....	80

**Seznam použitého značení**

$R_t$	vzdálenost těžiště od počátku	[mm]
$R_{zx}$	rádus zatížení ve směru osy X	[mm]
$R_{zy}$	rádus zatížení ve směru osy Y	[mm]
$d_{\check{c}}$	průměr čepu	[mm]
$a_{\check{c}}$	poloměr největšího zatížení čepu	[mm]
B	rozteč mezi zátěžnými silami od výložníku	[mm]
T	šířka ložiska	[mm]
$R_v$	vnější rádus	[mm]
D	průměr otvoru	[mm]
$R_1$	rádus ohybu v místě A	[mm]
$R_2$	rádus ohybu v místě B	[mm]
$R_3$	rádus ohybu v místě C	[mm]
$R_4$	rádus ohybu v místě D	[mm]
$d_v$	deformace konce výložníku	[mm]
$R_L$	Rozteč ložisek	[mm]
$L_{\check{c}}$	Rozteč mezi čepy	[mm]
$L_e$	Rozteč mezi oky	[mm]
$L_i$	Rozteč mezi oky	[mm]
$L_s$	Diagonální rozteč mezi oky	[mm]
$L_o$	Diagonální rozteč mezi oky	[mm]
A	vzdálenost oka od středu	[mm]
B	vzdálenost oka od středu	[mm]
$\sigma_{do}$	dovolené napětí v ohybu	[Mpa]
$\sigma_{ds}$	dovolené napětí ve střihu	[Mpa]
$\sigma_{dp}$	dovolené napětí v tlaku	[Mpa]
$m_z$	bezpečné pracovní zatížení	[kg]
$m_{kv}$	hmotnost kladky a posuvného vozíku	[kg]
$m_v$	hmotnost výložníku	[kg]
$R_m$	mez pevnosti materiálu	[Mpa]
$W_{b\check{c}}$	modul průřezu čepu	[mm <sup>3</sup> ]
$W_{bx1}$	modul průřezu ve směru osy x	[mm <sup>3</sup> ]
$W_{by1}$	modul průřezu ve směru osy y	[mm <sup>3</sup> ]
$W_{bx2}$	modul průřezu ve směru osy x	[mm <sup>3</sup> ]
$W_{by2}$	modul průřezu ve směru osy y	[mm <sup>3</sup> ]
$W_{bx3}$	modul průřezu ve směru osy x	[mm <sup>3</sup> ]
$W_{by3}$	modul průřezu ve směru osy y	[mm <sup>3</sup> ]
$W_{bx4}$	modul průřezu ve směru osy x	[mm <sup>3</sup> ]
$W_{by4}$	modul průřezu ve směru osy y	[mm <sup>3</sup> ]
$M_a$	moment v bodě A	[N.mm]
$M_{sxA}$	Statický moment kolem osy x v místě A	[N.mm]
$M_{dxA}$	Dynamický moment kolem osy x v místě A	[N.mm]

$M_{sxB}$	Statický moment kolem osy x v místě B	[N.mm]
$M_{dxB}$	Dynamický moment kolem osy x v místě B	[N.mm]
$M_{sxC}$	Statický moment kolem osy x v místě C	[N.mm]
$M_{dxC}$	Dynamický moment kolem osy x v místě C	[N.mm]
$M_{sxD}$	Statický moment kolem osy x v místě D	[N.mm]
$M_{dxD}$	Dynamický moment kolem osy x v místě D	[N.mm]
$M_{sYA}$	Statický moment kolem osy y v místě A	[N.mm]
$M_{dYA}$	Dynamický moment kolem osy y v místě A	[N.mm]
$M_{syB}$	Statický moment kolem osy y v místě B	[N.mm]
$M_{dyB}$	Dynamický moment kolem osy y v místě B	[N.mm]
$M_{syC}$	Statický moment kolem osy y v místě C	[N.mm]
$M_{dyC}$	Dynamický moment kolem osy y v místě C	[N.mm]
$M_{syD}$	Statický moment kolem osy y v místě D	[N.mm]
$M_{dyD}$	Dynamický moment kolem osy y v místě D	[N.mm]
$M_s$	Statický moment	[N.m]
$M_d$	Dynamický moment	[N.m]
$J_{x1}$	Moment setrvačnosti kolem osy	[mm <sup>4</sup> ]
$J_{y1}$	Moment setrvačnosti kolem osy y	[mm <sup>4</sup> ]
$J_{x2}$	Moment setrvačnosti kolem osy x	[mm <sup>4</sup> ]
$J_{y2}$	Moment setrvačnosti kolem osy y	[mm <sup>4</sup> ]
$J_{x3}$	Moment setrvačnosti kolem osy x	[mm <sup>4</sup> ]
$J_{y3}$	Moment setrvačnosti kolem osy y	[mm <sup>4</sup> ]
$J_{x4}$	Moment setrvačnosti kolem osy x	[mm <sup>4</sup> ]
$J_{y4}$	Moment setrvačnosti kolem osy y	[mm <sup>4</sup> ]
$\sigma_b \text{ stat}$	statické napětí v ohybu	[Mpa]
$\sigma_b \text{ dyn}$	dynamické napětí v ohybu	[Mpa]
$\tau_s \text{ stat}$	statické napětí ve střihu	[Mpa]
$\sigma_p \text{ stat}$	statické tlakové napětí	[Mpa]
$\sigma_p \text{ dyn}$	dynamické tlakové napětí	[Mpa]
$S_1$	plocha průřezu v místě A	[mm <sup>2</sup> ]
$S_2$	plocha průřezu v místě B	[mm <sup>2</sup> ]
$S_3$	plocha průřezu v místě C	[mm <sup>2</sup> ]
$S_4$	plocha průřezu v místě D	[mm <sup>2</sup> ]
$x_1$	Poloměr setrvačnosti kolem osy x	[mm]
$y_1$	Poloměr setrvačnosti kolem osy y	[mm]
$x_2$	Poloměr setrvačnosti kolem osy x	[mm]
$y_2$	Poloměr setrvačnosti kolem osy y	[mm]
$x_3$	Poloměr setrvačnosti kolem osy x	[mm]
$y_3$	Poloměr setrvačnosti kolem osy y	[mm]



$x_4$	Poloměr setrvačnosti kolem osy x	[mm]
$y_4$	Poloměr setrvačnosti kolem osy y	[mm]
$R_{ax}$	reakce ve směru osy X v bodě A	[N]
$R_{bx}$	reakce ve směru osy X v bodě B	[N]
$R_{ay}$	reakce ve směru osy Y v bodě A	[N]
$R_{axs}$	statická reakce ve směru osy X v bodě A	[N]
$R_{bxs}$	statická reakce ve směru osy X v bodě B	[N]
$R_{ays}$	statická reakce ve směru osy Y v bodě A	[N]
$R_{axd}$	dynamická reakce ve směru osy X v bodě A	[N]
$R_{bxd}$	dynamická reakce ve směru osy X v bodě B	[N]
$R_{ayd}$	dynamická reakce ve směru osy Y v bodě A	[N]
$R_{as}$	statická reakce v bodě A	[N]
$R_{ad}$	dynamická reakce v bodě A	[N]
$F_{r \text{ stat}}$	Statická radiální reakce v ložisku	[N]
$F_{r \text{ dyn}}$	Dynamická radiální reakce v ložisku	[N]
$F_{a \text{ stat}}$	Statická axiální reakce v ložisku	[N]
$F_{a \text{ dyn}}$	Dynamická axiální reakce v ložisku	[N]
$F_s$	statické zatížení	[N]
$F_d$	dynamické zatížení	[N]
$F_{sz}$	statické zatížení ve směru osy Z	[N]
$F_{dz}$	dynamické zatížení ve směru osy Z	[N]
$f_d$	dynamický součinitel	[-]
$G$	gravitační zrychlení	[mm.s <sup>-2</sup> ]
$k_s$	statický součinitel bezpečnosti	[-]
$k_d$	dynamický součinitel bezpečnosti	[-]
$\alpha$	úhel působení síly	[°]
$C_1$	Únosnost ložiska radiální	[N]
$C_{90}$	Únosnost ložiska axiální	[N]
$\sigma_{o \text{ stat } x1}$	Statické ohybové zatížení v bodě A	[Mpa]
$\tau_{s \text{ stat } x1}$	Statické střihové zatížení v bodě A	[Mpa]
$\sigma_{p \text{ stat}}$	Statické zatížení tlakové	[Mpa]
$\sigma_{\text{kom } 1 \text{ stat}}$	Statické kombinované zatížení v místě A	[Mpa]
$\sigma_{\text{red } 1}$	Statické redukované zatížení v místě A	[Mpa]
$\sigma_{o \text{ dyn } x1}$	Dynamické ohybové zatížení v bodě A	[Mpa]
$\tau_{s \text{ dyn } x1}$	Dynamické střihové zatížení v bodě A	[Mpa]
$\sigma_{p \text{ stat}}$	Dynamické zatížení tlakové	[Mpa]
$\sigma_{\text{kom } 1 \text{ stat}}$	Dynamické kombinované zatížení v místě A	[Mpa]
$\sigma_{\text{red } 1}$	Dynamické redukované zatížení v místě A	[Mpa]
$\sigma_{o \text{ stat } x2}$	Statické ohybové zatížení v bodě B	[Mpa]
$\tau_{s \text{ stat } x2}$	Statické střihové zatížení v bodě B	[Mpa]
$\sigma_{p \text{ stat}}$	Statické zatížení tlakové	[Mpa]
$\sigma_{\text{kom } 2 \text{ stat}}$	Statické kombinované zatížení v místě B	[Mpa]
$\sigma_{\text{red } 2}$	Statické redukované zatížení v místě B	[Mpa]
$\sigma_{o \text{ dyn } x2}$	Dynamické ohybové zatížení v bodě B	[Mpa]

$\tau_s \text{ dyn } x2$	Dynamické střihové zatížení v bodě B	[Mpa]
$\sigma_p \text{ stat}$	Dynamické zatížení tlakové	[Mpa]
$\sigma_{\text{kom } 2 \text{ stat}}$	Dynamické kombinované zatížení v místě B	[Mpa]
$\sigma_{\text{red } 2}$	Dynamické redukované zatížení v místě	[Mpa]
$\sigma_o \text{ stat } x3$	Statické ohybové zatížení v bodě C	[Mpa]
$\tau_s \text{ stat } x3$	Statické střihové zatížení v bodě C	[Mpa]
$\sigma_p \text{ stat}$	Statické zatížení tlakové	[Mpa]
$\sigma_{\text{kom } 3 \text{ stat}}$	Statické kombinované zatížení v místě C	[Mpa]
$\sigma_{\text{red } 3}$	Statické redukované zatížení v místě C	[Mpa]
$\sigma_o \text{ dyn } x3$	Dynamické ohybové zatížení v bodě C	[Mpa]
$\tau_s \text{ dyn } x3$	Dynamické střihové zatížení v bodě C	[Mpa]
$\sigma_p \text{ stat}$	Dynamické zatížení tlakové	[Mpa]
$\sigma_{\text{kom } 3 \text{ stat}}$	Dynamické kombinované zatížení v místě C	[Mpa]
$\sigma_{\text{red } 3}$	Dynamické redukované zatížení v místě C	[Mpa]
$\sigma_o \text{ stat } x4$	Statické ohybové zatížení v bodě D	[Mpa]
$\tau_s \text{ stat } x4$	Statické střihové zatížení v bodě D	[Mpa]
$\sigma_p \text{ stat}$	Statické zatížení tlakové	[Mpa]
$\sigma_{\text{kom } 4 \text{ stat}}$	Statické kombinované zatížení v místě D	[Mpa]
$\sigma_{\text{red } 4}$	Statické redukované zatížení v místě D	[Mpa]
$\sigma_o \text{ dyn } x4$	Dynamické ohybové zatížení v bodě D	[Mpa]
$\tau_s \text{ dyn } x4$	Dynamické střihové zatížení v bodě D	[Mpa]
$\sigma_p \text{ stat}$	Dynamické zatížení tlakové	[Mpa]
$\sigma_{\text{kom } 4 \text{ stat}}$	Dynamické kombinované zatížení v místě D	[Mpa]
$\sigma_{\text{red } 4}$	Dynamické redukované zatížení v místě D	[Mpa]
$\sigma_{\text{red stat}}$	Redukované zatížení statické	[Mpa]
$\sigma_{\text{red dyn}}$	Redukované zatížení dynamické	[Mpa]
$P_r$	Ekvivalentní zatížení radiální	[N]
$P_s$	Ekvivalentní zatížení axiální	[N]
$F_a \text{ dyn}$	zatížení čepu dynamické	[N]
$F_b \text{ dyn}$	zatížení čepu dynamické	[N]
$F_a \text{ stat}$	zatížení čepu statické	[N]
$F_b \text{ stat}$	zatížení čepu statické	[N]

# 1 ÚVOD

Obsahem této diplomové práce je návrh úpravy stávajícího hydraulicky poháněného servisního jeřábu pro vrtnou soupravu LOC 400. Jeřáb je využíván pro různé pomocné či servisní práce a je umístěn v nejvyšším bodě vrtné věže.

Základním požadavkem je prodloužení současného jeřábu o 1 m délky, ze stávajícího dosahu 6 m na požadovaných 7 m při zachování nosnosti 6t v celém rozsahu. Dalším neméně důležitým požadavkem je začlenění prodlouženého jeřábu do stávající věže tak, aby věž zůstala nezměněná. To znamená, že délka jeřábu po složení musí být maximálně stejná jako u původní verze.

Návrh na úpravu servisního jeřábu je zaměřen na rozdělení výložníku na dvě části, kdy nová kratší část bude pro dopravu zaklopená do hlavní části výložníku tak aby výsledná délka nepřekročila původní délku výložníku. Pojezdový vozík a hák pro zvedání nákladu zůstávají stejné.

Pevnostní kontrola zahrnuje kontrolu nové navrhované části výložníku a kontrolu původních dílů konstrukce. Základní koncept jeřábu zůstává nezměněn, proto jsou původní díly včetně ložisek kontrolovány, zda budou vyhovovat i pro prodlouženou verzi jeřábu.

## 2 Vrtná souprava LOC 400

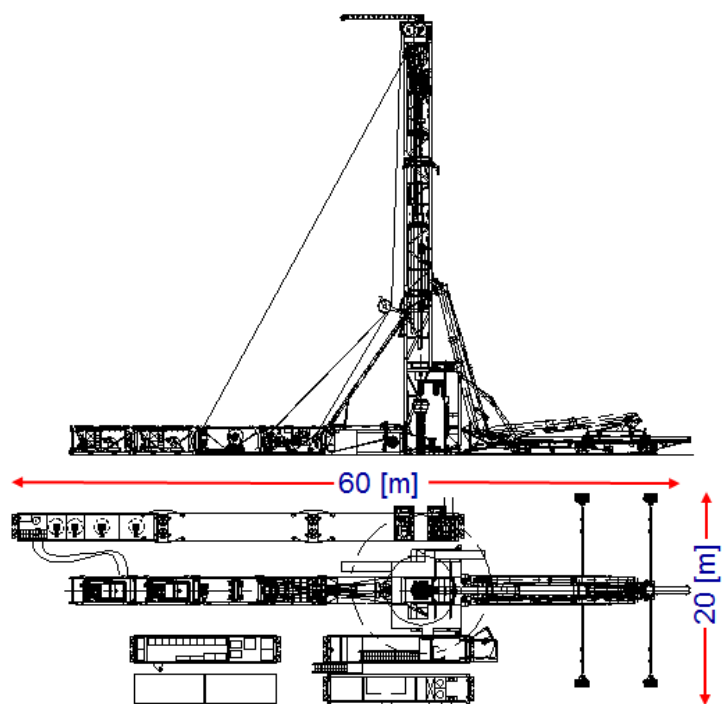
LOC 400 je vrtná souprava určená jak pro pozemní tak pro námořní použití. Splňuje normy API, ATEX, PED a CE. LOC 400 je plně kontejnerizovaný, což umožňuje jeho snadnou přepravu, montáž a demontáž.

Souprava umožňuje vrtání až do hloubky 6000 metrů, přičemž statická únosnost věže je 400 „shore tons“, což odpovídá nosnosti 360 tun. Vrtání je možno provádět za pomoci tzv. „Top drive“, tzn. horního pohonu, kdy jsou trubky poháněny elektro-motorem na horním konci řetězce trubek. Rovněž je možno provádět vrtání pomocí „Rotary table“, tzn. otočného stolu, kdy jsou trubky uchyceny v čelistech otočného stolu a ten vykonává hlavní rotační pohyb. Rotační stůl umožňuje uchycení trubek do průměru 37 ½“. U obou metod je dynamická únosnost 350 tun. Pro výplach jsou použity 3 až 4 pumpy, v závislosti na požadavku zákazníka. Každá pumpa má výkon 800 HP.

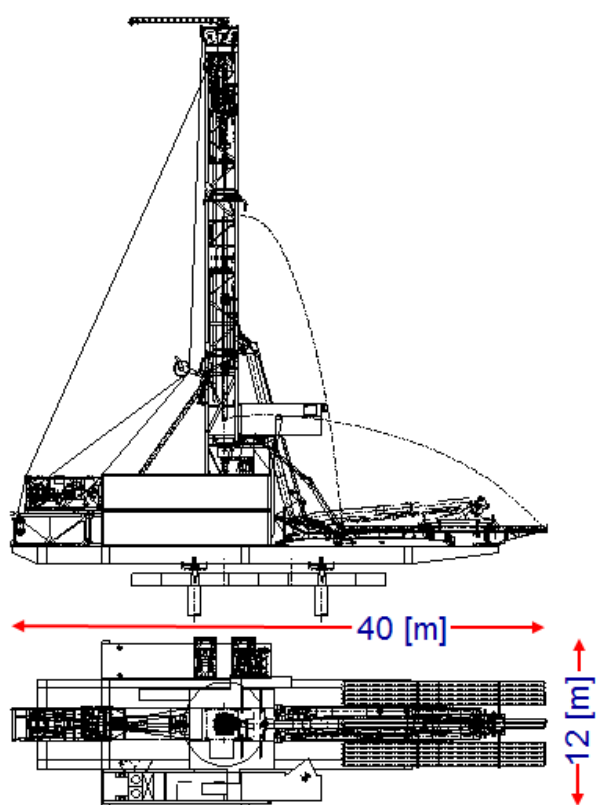
Celá souprava při pozemním vrtání zabírá prostor 20 x 60 metrů (viz. Obrázek 2.2). Pro námořní použití souprava zabírá prostor 12 x 40 metrů (viz. Obrázek 2.3).



Obrázek 2.1 Vrtná souprava LOC 400



Obrázek 2.2 Rozložení soupravy při pozemním použití



Obrázek 2.3 Rozložení soupravy při námořním použití

Vrtání je možno provádět pomocí trubek, nebo pomocí pažnic. Zapažení vrtu již během vrtání umožňuje zrychlení celého procesu. Vrtání je prováděno s pažnicemi, proto není třeba pažení vrtu provádět po dosažení požadované hloubky. Díky tomu odpadají problémy s možným bortěním stěny vrtu. Oproti tomu, vrtání pomocí trubek umožňuje usměrněné vrtání.

Celý proces je plně automatizovaný. Podávání trubek je prováděno pomocí zařízení Pipe Handler. Toto zařízení podává trubky plně automaticky do osy vrtu, kde je trubka uchycená do horního pohonu a pomocí speciálních kleští našroubovaná do stávající kolony trubek.

### Přesun a vztyčení vrtné soupravy

Souprava je složená z dílů, které vnějšími rozměry odpovídají standardu ISO kontejnerů (viz. Obrázek 2.4). Celkově se souprava skládá z 22 ISO kontejnerů. Jednotlivé dílce jsou lehčí než u standardních souprav. To umožňuje snadnější a rychlejší manipulaci, snižuje riziko poškození a nehod. Přeprava je možná po normálních komunikacích a náklady nejsou velké. V rámci vrtného pole je souprava schopna přesunout se za 36 hodin.

Pro vztyčení soupravy nejsou potřebné žádné jeřáby. Souprava se vztyčuje sama (viz. Obrázek 2.5). Rychlé složení usnadňují jednoduché spoje jak elektrických tak hydraulických systémů.



Obrázek 2.4 ISO kontejner



Obrázek 2.5 Vztyčení vrtné věže

### Servisní jeřáb

Hydraulicky poháněný servisní jeřáb (viz. Obrázek 2.6) umožňuje manipulaci v dosahu 6 metrů od středu vrtu. Nosnost jeřábu je 6 tun. Pro přepravu je servisní jeřáb složen do horní části vrtné věže.



Obrázek 2.6 Servisní jeřáb

## Ovládání vrtné soupravy

Ovládání vrtné soupravy je prováděno z kabiny operátora. Celý systém je od jednoho dodavatele, nejsou potřeba zásahy třetích osob. Operátor má dobrý výhled přímo do osy vrtání. Prostory, na které nemá dobrý výhled, jsou zajištěny kamerami. Servis řídicího systému je možný přes satelitní internetové připojení. Díky satelitnímu připojení, je možné řídit více souprav z jednoho střediska, protože aktuální informace o vrtu jsou k dispozici v nezměněném stavu jak operátorovi na místě, tak operátorovi ve vzdálené kanceláři.

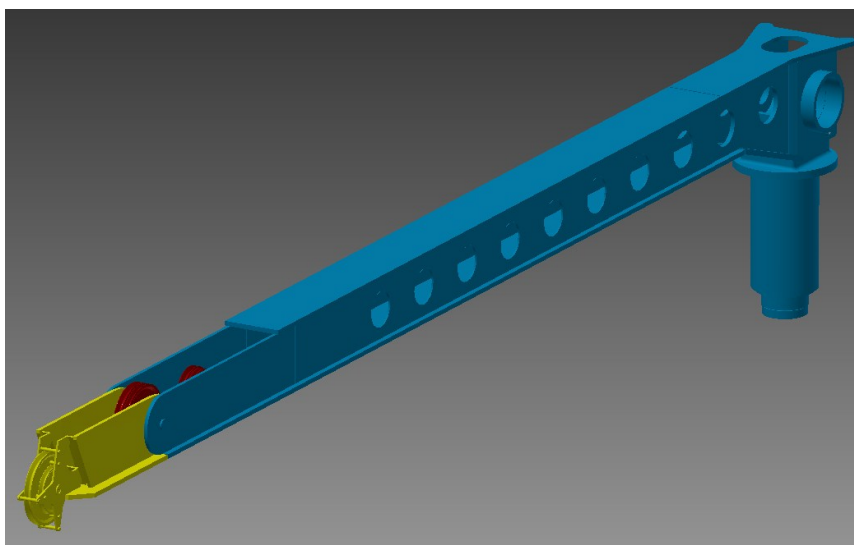


### 3 Návrh řešení jeřábu

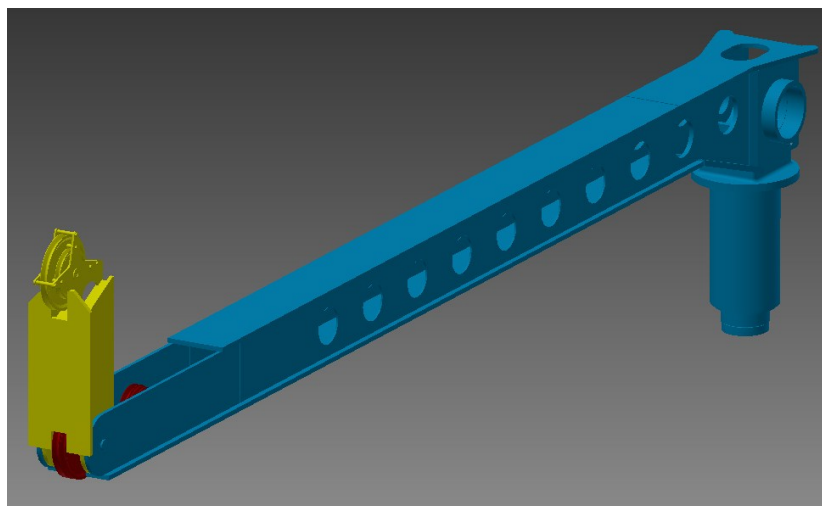
Jedním z hlavních požadavků bylo, aby délka jeřábu zůstala pro přepravu nezměněná. Vzhledem k tvaru původní konstrukce a způsobu pohybu nosného vozíku po rameni jeřábu, volím variantu, kdy je výložník rozložen na dvě části.

Hlavní a zároveň více namáhána část výložníku (viz. Obrázek 3.1 modrá část modelu), vychází z původní konstrukce. Je pouze upravená tak, aby umožňovala zaklopení kratší části výložníku. Kratší část výložníku umožňuje prodloužení jeřábu o 1 m oproti původní délce (viz. Obrázek 3.1 žlutá část modelu). Nově konstruovaný jeřáb bude možno používat pouze v rozloženém stavu.

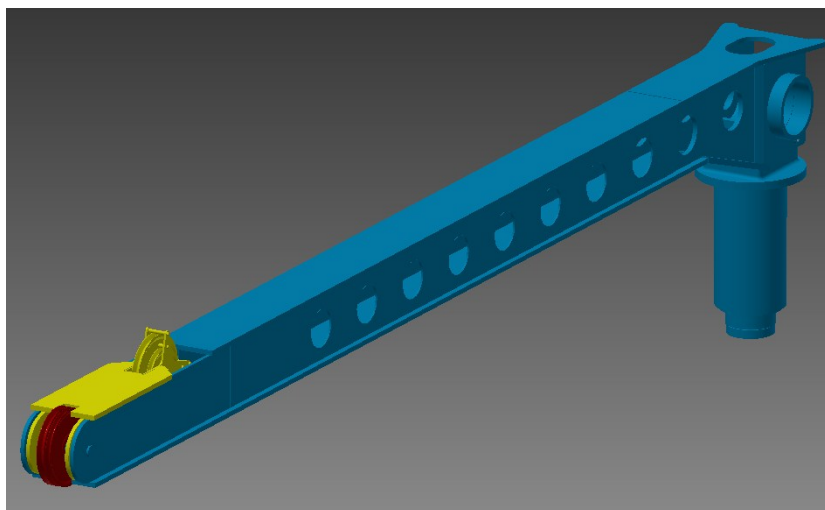
Vyklápění kratší části výložníku bude prováděno ručně, během stavby soupravy. Pro automatické vyklopení by bylo potřeba navrhnout složitý a nákladný systém. V důsledku toho, by se servisní jeřáb razantním způsobem zkomplikoval. Jeho hmotnost by značně narostla a bylo by potřeba změnit kompletně celou koncepci jeřábu. Průběh složení výložníku viz. Obrázek 3.2 a 3.3.



Obrázek 3.1 Pohled na rozložený výložník



Obrázek 3.2      Pohled na průběh složení výložníku

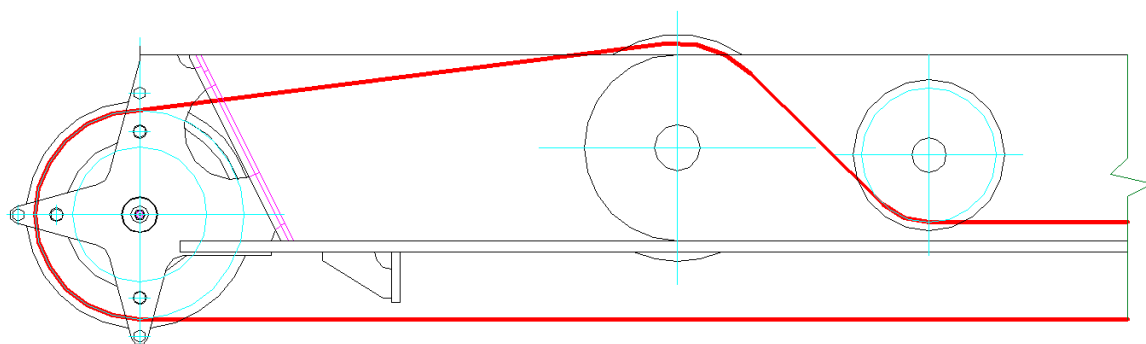


Obrázek 3.3      Pohled na složený výložník

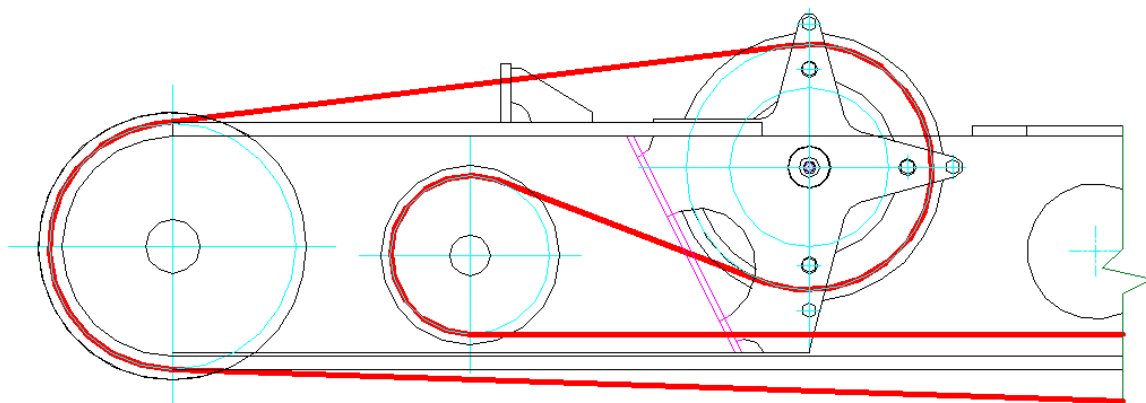
Vyklápěním dojde k prodloužení lan ze spodu výložníku, proto je tento problém nutné vyřešit. Pro řešení tohoto problému, jsou v rameni výložníku přidány dvě kladky pro každé lano (viz. Obrázek 3.1. až 3.3 Červené kladky). Tyto kladky umožňují redukovat délku lana od hlavní kladky k navijákům tak, aby délka zkrácení odpovídala prodloužení lan ze spodu výložníku kolem kladky umístěné na spojovacím čepu obou částí výložníku.

Ukázka propletení lan přes kladky v rozloženém stavu viz. Obrázek 3.4. Ukázka propletení lan přes kladky ve složeném stavu viz. Obrázek 3.5.

Kladky musí splňovat minimální požadavky na poloměr ohybu lana [6].



Obrázek 3.4 Vedení lan v rozloženém stavu



Obrázek 3.5 Vedení lan ve složeném stavu

## 4 Návrh a kontrola kratší části výložníku

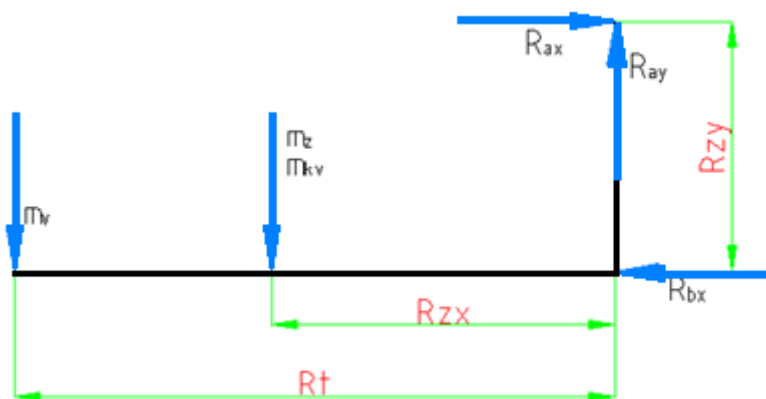
Kontrola kratší části výložníku spočívá v jeho kontrole na statickou i dynamickou únosnost. Pro výpočet dynamické únosnosti je potřeba zátěžnou sílu vynásobit dynamickým součinitelem  $f_d=1,5$  [6]. Ze zatížení vypočítám reakce v ložiskách pro uchycení čepem k delší části výložníku a tlak v místě styku plechů, po kterých se pohybuje pojezdový vozík. Výložník bude vyroben z materiálu StE 69.  $\sigma_d=690\text{MPa}$

### 4.1 Parametry zatížení

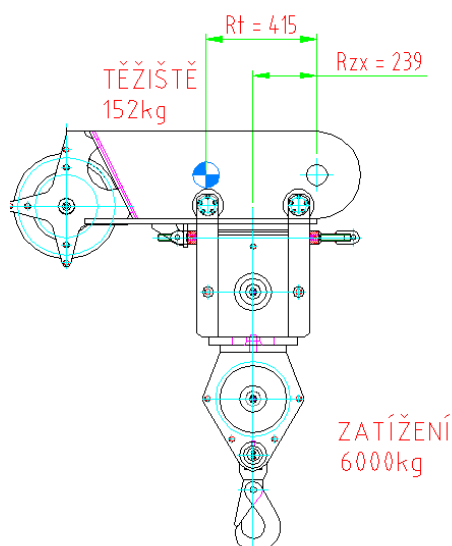
Dynamický součinitel:	$f_d = 1,5$
Bezpečné pracovní zatížení:	$m_z = 6000 \text{ kg}$
Hmotnost kladky a posuvného vozíku:	$m_{kv} = 280 \text{ kg}$
Vlastní hmotnost výložníku:	$m_v = 152 \text{ kg}$

### 4.2 Rozměry

Těžiště:	$R_t = 415 \text{ mm}$
Rádus zatížení ve směru osy X vzhledem k spojovacímu čepu:	$R_{zx} = 237 \text{ mm}$
Rádus zatížení ve směru osy Y vzhledem k spojovacímu čepu:	$R_{zy} = 172,5 \text{ mm}$



Obrázek 4.1 Náčrt zatížení kratší části výložníku



Obrázek 4.2 Rozměry kratšího výložníku pro kontrolu čepu a otláčení

## 4.3 Výpočty

### 4.3.1 Zatížení

Zatížení stanovím z hmotnosti závaží a gravitačního zrychlení. Pro dynamické zatížení, přidávám dynamický součinitel  $f_d$ .

Statické zatížení  $F_s$

$$F_s = m_z \cdot g \quad (1)$$

$$F_s = 6000 \cdot 10$$

$$F_s = 60kN$$

Dynamické zatížení  $F_d$

$$F_d = m_z \cdot g \cdot f_d \quad (2)$$

$$F_d = 6000 \cdot 10 \cdot 1,5$$

$$F_d = 90kN$$

### 4.3.2 Výpočet reakcí

Vzorce pro reakce jsou stejné pro statické i pro dynamické namáhání. Proto lze reakce určit ze stejných vzorců, pouze je třeba dosadit statické zatížení pro statické reakce a dynamické zatížení pro reakce dynamické.

Rovnováha sil ve směru osy x:

$$\Sigma F_x: \quad R_{ax} - R_{bx} = 0 \quad (3)$$

Rovnováha sil ve směru osy y

$$\Sigma F_y: \quad R_{ay} - F = 0 \quad (4)$$

Rovnováha momentů kolem bodu A:

$$\Sigma M_A: \quad R_{bx} \cdot R_{zy} - F \cdot R_{zx} - m_v \cdot g \cdot R_t = 0 \quad (5)$$

### Statické namáhání

Z rovnováhy momentů kolem bodu A (5) vypočítám reakci  $R_{bx}$ :

$$R_{bxs} = \frac{F_s \cdot R_{zx} + m_v \cdot g \cdot R_t}{R_{zy}}$$

$$R_{bxs} = \frac{60000 \cdot 237 + 152 \cdot 10 \cdot 415}{172.5}$$

$$R_{bxs} = 86 \text{ kN}$$

Z rovnováhy sil ve směru osy x (3) vypočítám reakci  $R_{ax}$ :

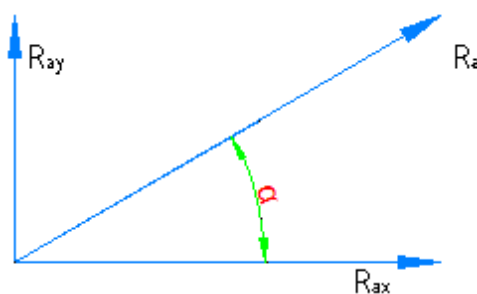
$$R_{axs} = R_{bxs}$$

$$R_{axs} = 86 \text{ kN}$$

Z rovnováhy sil ve směru osy y (4) vypočítám reakci  $R_{ay}$ :

$$R_{ays} = F_s$$

$$R_{ays} = 60 \text{ kN}$$

Obrázek 4.3 Schéma působení reakční síly  $R_a$ 

Výsledná reakce v čepu  $R_a$ :

$$R_{as} = \sqrt{R_{axs}^2 + R_{ays}^2} \quad (6)$$

$$R_{as} = \sqrt{86^2 + 60^2}$$

$$R_{as} = 104 \text{ kN}$$

Směr působení reakce  $R_{as}$   $\alpha$ :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{R_{ays}}{R_{axs}} \quad (7)$$

$$\alpha = \arctan \frac{R_{ays}}{R_{axs}}$$

$$\alpha = \arctan \frac{60}{86} = 35^\circ$$

### Dynamické namáhání

Z rovnováhy momentů kolem bodu A (5) vypočítám reakci  $R_{bx}$ :

$$R_{bxd} = \frac{F_d \cdot R_{zx} + m_v \cdot g \cdot R_t}{R_{zy}}$$

$$R_{bxd} = \frac{90000 \cdot 237 + 152 \cdot 10 \cdot 415}{172.5}$$

$$R_{bxd} = 127 \text{ kN}$$

Z rovnováhy sil ve směru osy x (3) vypočítám reakci  $R_{ax}$ :

$$R_{axd} = R_{bxd}$$

$$R_{axd} = 127 \text{ kN}$$

Z rovnováhy sil ve směru osy y (4) vypočítám reakci  $R_{ay}$ :

$$R_{ayd} = F_d$$

$$R_{ayd} = 90 \text{ kN}$$

Výsledná reakce v čepu  $R_a$ :

$$R_{ad} = \sqrt{R_{axd}^2 + R_{ayd}^2} \quad (8)$$

$$R_{ad} = \sqrt{127^2 + 90^2}$$

$$R_{ad} = 155 \text{ kN}$$

Směr působení reakce  $R_{ad}$   $\alpha$ :

Směrem působení reakce se rozumí úhel, který výsledná síla svírá s osou x.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{R_{ayd}}{R_{axd}} \quad (9)$$

$$\alpha = \arctan \frac{R_{ayd}}{R_{axd}}$$

$$\alpha = \arctan \frac{90}{127} = 35^\circ$$

#### 4.3.3 Kontrola čepu spojovacího kratší část výložníku s hlavní částí výložníku

Rozměry

- Průměr čepu:  $d_c = 50 \text{ mm}$
- Poloměr největšího zatížení čepu:  $a_c = 25 \text{ mm}$
- Rozteč mezi zátěžnými silami od výložníku:  $b = 220 \text{ mm}$



## Parametry zatížení

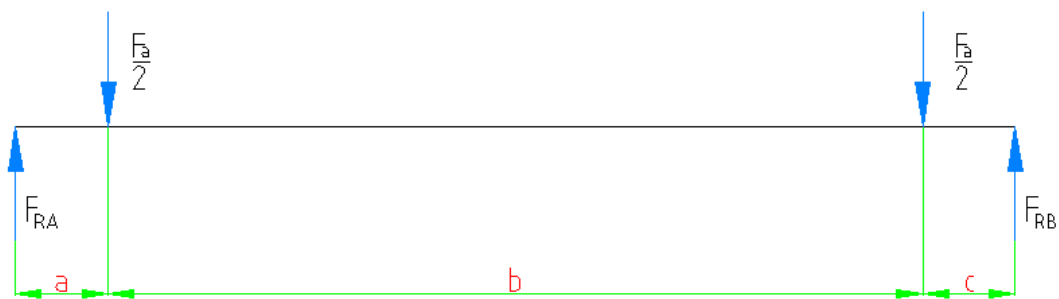
- Statické zatížení:  $F_s = 104 \text{ kN}$
- Dynamické zatížení:  $F_d = 155 \text{ Kn}$
- Šířka ložiska:  $t = 20 \text{ mm}$

Modul průřezu  $W_{b\check{c}} [1]$ :

$$W_{b\check{c}} = \frac{\pi \cdot d_{\check{c}}^3}{32} \quad (10)$$

$$W_{b\check{c}} = \frac{\pi \cdot 50^3}{32}$$

$$W_{b\check{c}} = 122713,8463 \text{ mm}^3$$



Obrázek 4.4 Schéma zatížení čepu spojujícího kratší část výložníku s hlavní částí výložníku

Napětí v ohybu  $\sigma_b$ :

- Statické

$$\sigma_{b \text{ stat}} = \frac{F_s \cdot a_{\check{c}}}{W_{b\check{c}}} \quad (11)$$

$$\sigma_{b \text{ stat}} = \frac{104000 \cdot 25}{12271,8463}$$

$$\sigma_{b \text{ stat}} = 211 \text{ MPa}$$

- dynamické

$$\sigma_{b\ dyn} = \frac{F_d \cdot a_{\xi}}{W_{b\xi}} \quad (12)$$

$$\sigma_{b\ dyn} = \frac{155000 \cdot 25}{12271,8463}$$

$$\sigma_{b\ dyn} = 316\ MPa$$

Střihové napětí  $\tau_s$ :

$$\tau_{s\ stat} = \frac{F_s}{\pi \cdot d_{\xi}^2} \quad (13)$$

$$\tau_{s\ stat} = \frac{104000}{\pi \cdot 50^2}$$

$$\tau_{s\ stat} = 13,2\ MPa$$

Tlakové napětí  $\sigma_p$ :

- statické

$$\sigma_{p\ stat} = \frac{F_s}{d_{\xi} \cdot t} \quad (14)$$

$$\sigma_{p\ stat} = \frac{104000}{50 \cdot 20}$$

$$\sigma_{p\ stat} = 104\ MPa$$

- Dynamické

$$\sigma_{p\ stat} = \frac{F_d}{d_{\xi} \cdot t} \quad (15)$$

$$\sigma_{p\ stat} = \frac{155000}{50 \cdot 20}$$

$$\sigma_{p\ stat} = 155\ MPa$$

Materiál čepu – 30CrNiMo8 - Ocel s vysokou prokalitelností pro vysoce namáhané strojní díly.

Vlastnosti materiálu : [5]

- $R_m = 1100$  až  $1300$  MPa

- Dovolené napětí v ohybu  $\sigma_{do}$ :

$$\sigma_{do} = 0,7 \cdot R_m \quad (16)$$

$$\sigma_{do} = 0,7 \cdot 1200$$

$$\sigma_{do} = 840 \text{ MPa}$$

- Dovolené napětí ve střihu  $\sigma_{ds}$ :

$$\sigma_{ds} = 0,36 \cdot R_m \quad (17)$$

$$\sigma_{ds} = 0,36 \cdot 1200$$

$$\sigma_{ds} = 432 \text{ MPa}$$

- Dovolené napětí v tlaku  $\sigma_{dp}$ :

$$\sigma_{dp} = 0,6 \cdot R_m \quad (18)$$

$$\sigma_{dp} = 0,6 \cdot 1200$$

$$\sigma_{dp} = 720 \text{ MPa}$$

### Kontrola bezpečnosti:

- Statická bezpečnost v ohybu  $k_s$

$$k_s = \frac{\sigma_d}{\sigma_{b \text{ stat}}} \quad (19)$$

$$k_s = \frac{840}{211} = 3,98$$

Vyhovuje

- Dynamická bezpečnost v ohybu  $k_d$

$$k_d = \frac{\sigma_d}{\sigma_{b\ dyn}} \quad (20)$$

$$k_d = \frac{840}{316} = 2,66$$

Vyhovuje

- Bezpečnost ve střihu  $k_d$

$$k_d = \frac{\sigma_d}{\sigma_{b\ dyn}} \quad (21)$$

$$k_d = \frac{432}{13,2} = 32,7$$

Vyhovuje

- Statická bezpečnost v tlaku  $k_{ps}$

$$k_{ps} = \frac{\sigma_d}{\sigma_{b\ stat}} \quad (22)$$

$$k_{ps} = \frac{720}{104} = 6,92$$

Vyhovuje

- Dynamická bezpečnost v tlaku  $k_{pd}$

$$k_{pd} = \frac{\sigma_d}{\sigma_{b\ stat}} \quad (23)$$

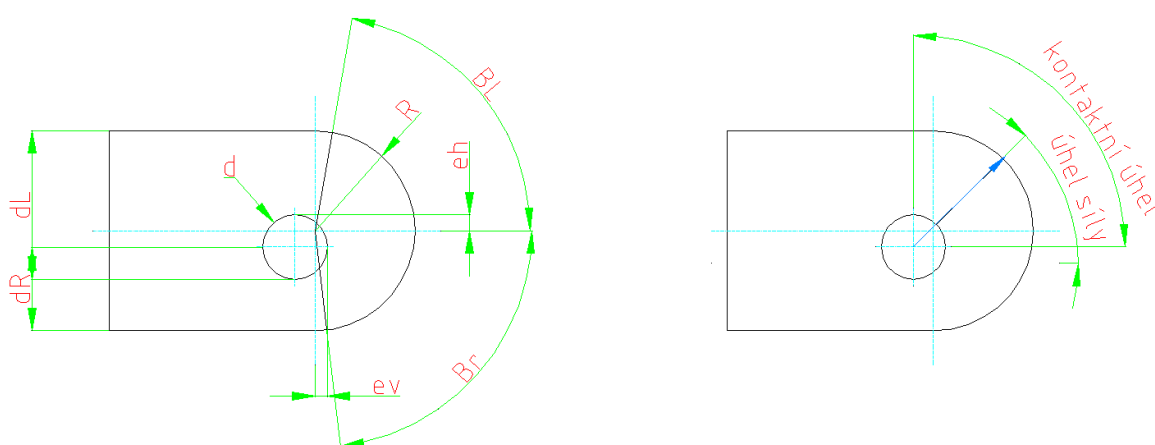
$$k_{pd} = \frac{720}{155} = 4,65$$

Vyhovuje

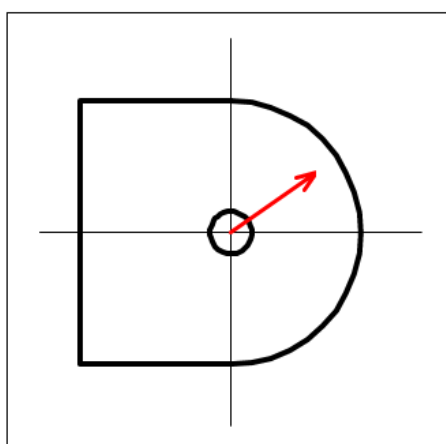
#### 4.3.4 Kontrola ok pro uchycení čepu v programu IMEP

Kompletní kontrola byla provedena ve výpočtovém programu IMEP vytvořeném společností Huisman Equipment B.V. Do programu je potřeba zadat rozměry oka (viz. Obrázek 4.5) a dané zatížení. Výstupem z programu IMEP je tabulka s výslednými bezpečnostmi a maximálními napětími a síťové schéma deformace.

Program umožňuje kontrolu ok ve svislém směru, proto je třeba potřebné parametry zadávat s ohledem na tuto skutečnost.



Obrázek 4.5 Názorné zobrazení vstupních hodnot v programu IMEP



Obrázek 4.6 Směr působení zatěžující síly

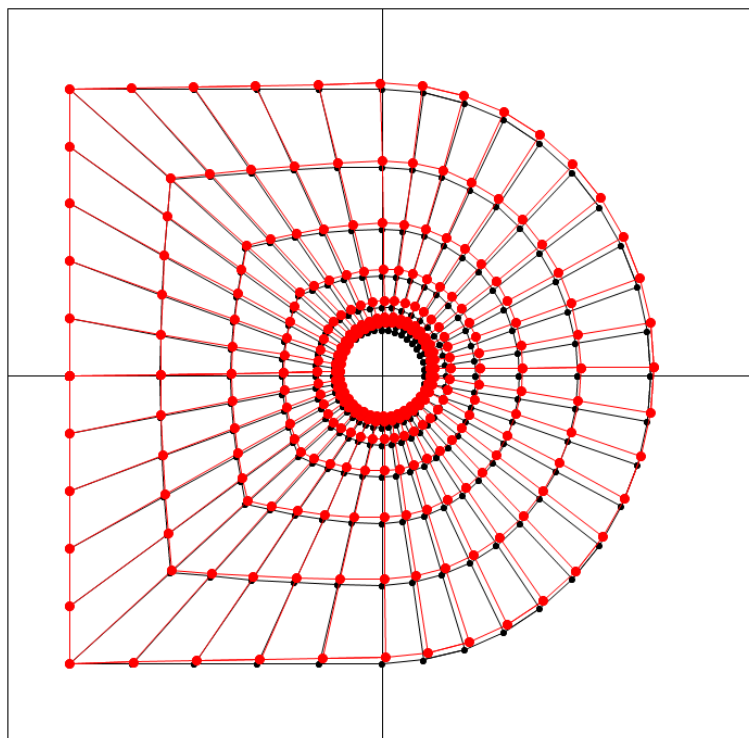
Zatěžující síla působí na obě oka stejnou mírou, proto do výpočtu jednoho oka uvažují pouze s polovičním zatížením.

Tabulka 4.1 Parametry zatížení pro výpočet v programu IMEP

Vstupní hodnoty		
geometrie	vnější rádius $R_v$ [mm]	155
	průměr otvoru $d$ [mm]	50
	tloušťka $t$ [mm]	20
	vertikální excentricita díry $e_v$ [mm]	0
	horizontální excentricita díry $e_h$ [mm]	0
	sklon okraje vlevo $\beta_L$ [°]	90
	sklon okraje vpravo $\beta_R$ [°]	90
	vzdálenost k okraji dole $d_B$ : [mm]	0
	vzdálenost k okraji vlevo $d_L$ : [mm]	0
	vzdálenost k okraji vpravo $d_R$ : [mm]	0
zatížení	zatěžující síla [kN]	77.5
	úhel působení zatěžující síly [°]	35
	kontaktní úhel [°]	120
	omezení ze spoda 1...ano, 0...ne	1
	omezení z leva 1...ano, 0...ne	0
	omezení z prava 1...ano, 0...ne	0
síť	počet elementu na 90° vnitřního rádiusu	10
	počet elementů mezi rádiusy	6
	korekce hustoty sítě: 0=automatické, 1=rovnoměrné velikosti	0
ostatní	dovolené napětí materiálu [MPa]	690
	dovolené maximální napětí (hodnocení napětí na vnitřním rádiusu) [%]	100
	požadovaná bezpečnost [ - ]	3
	průměrné tlakové napětí [MPa]	77.5

Tabulka 4.2 Výsledky vypočtené programem IMEP

Výsledky	
maximální napětí - díra [Mpa]	106.2
maximální napětí - vnější rádius [Mpa]	18.4
maximální dovolené napětí [kN]	230.0
maximální napětí - % dovolěného	15.4
bezpečnost - napětí v vnějším rádiusu [-]	37.55
bezpečnost - v tlaku [-]	8.9



Obrázek 4.7 Graf průběhu deformace – výstup z programu IMEP

Závěr:

Pevnostní kontrola v programu IMEP ukázala, že oka mají dostatečnou pevnost pro dané zatížení.

## 4.4 Kontrola kratší části výložníku metodou konečných prvků

Pro kontrolu výložníků metodou konečných prvků jsem použil modul pevnostní analýzy v programu Autodesk Inventor 2012. Jedná se o poměrně jednoduchý modul, kdy se zatížení a vazby zadávají přímo v prostředí modelování, bez potřeby převádění modelu do jiných speciálních formátů pro jiné programy. Kontrola je provedena pro dynamické zatížení, proto je potřeba, aby výložník splňoval dynamickou bezpečnost  $k_d=1,5$ . V programu jsem zadal dynamické zatížení od břemene, dovolené napětí materiálu a body pro uchycení a kontakt s delší částí výložníku (viz. Obrázek 4.8.).

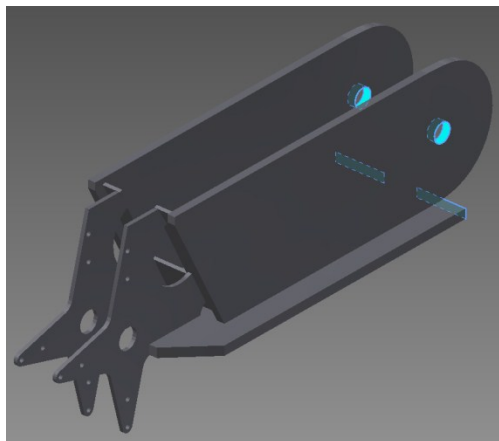
### 4.4.1 Vstupní hodnoty pro pevnostní analýzu

Zatěžující síla:

$$F_d = 90 \text{ kN}$$

Dovolené napětí materiálu:

$$\sigma_d = 690 \text{ MPa}$$

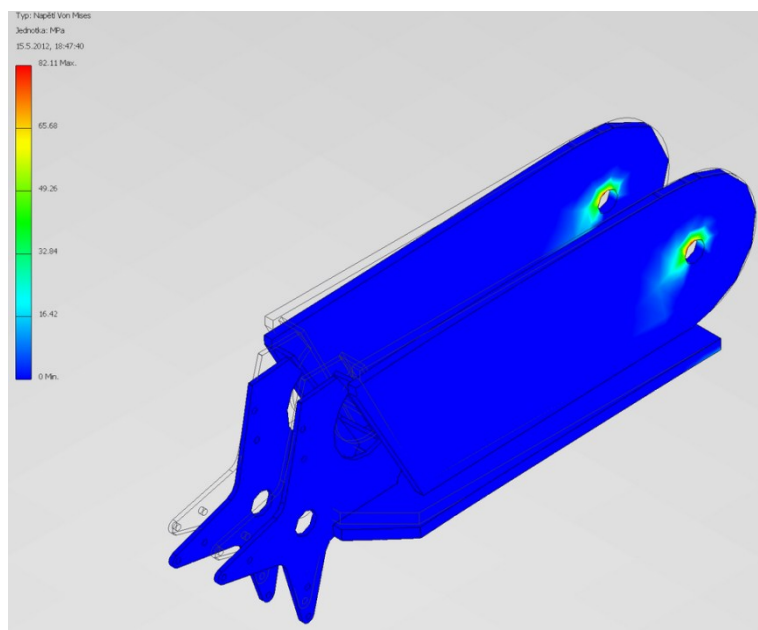


Obrázek 4.8 Plochy uchycení krátké části výložníku

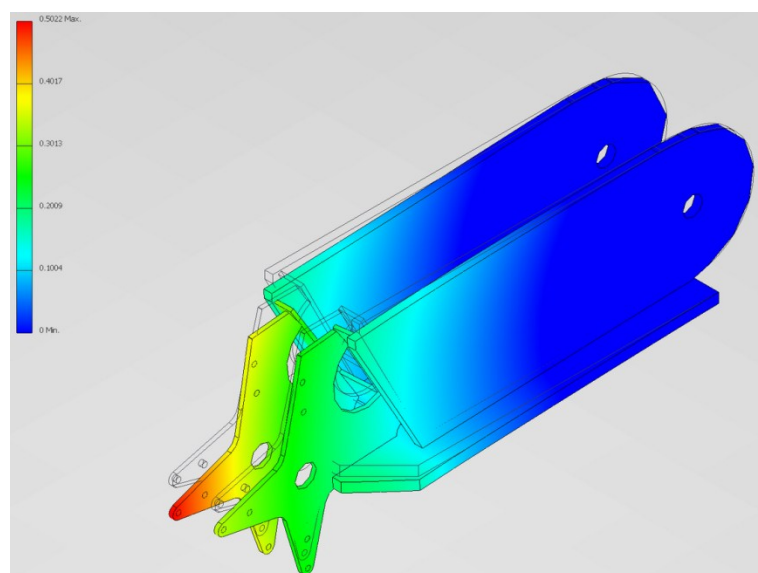


#### 4.4.2 Výstupní hodnoty pevnostní analýzy

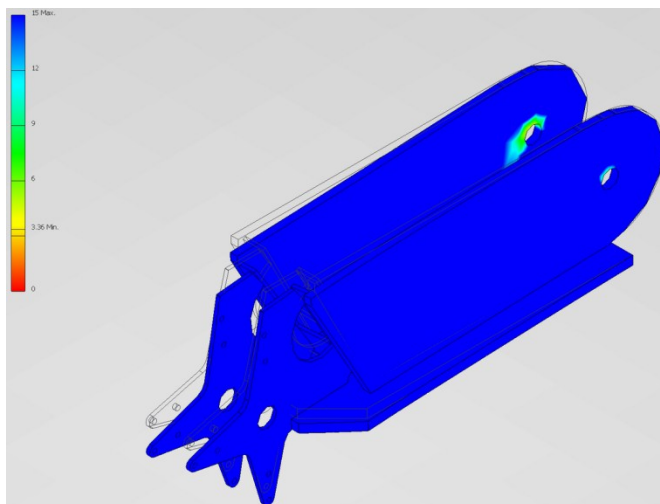
Výsledkem kontroly v programu Inventor jsou grafické znázornění napětí (viz. Obrázek 4.9), posunutí (viz. Obrázek 4.10) a součinitele bezpečnosti (viz. Obrázek 4.11). Výsledky analýzy jsou zapsány v Tabulce 3.



Obrázek 4.9 Znázornění napětí v kratší části výložníku



Obrázek 4.10 Znázornění posunutí kratší části výložníku



Obrázek 4.11 Součinitele bezpečnosti v kratší části výložníku

Tabulka 4.3 Výstupní hodnoty pevnostní analýzy

Maximální napětí [MPa]	82.11
Maximální posunutí [mm]	0,5
Maximální součinitel bezpečnosti [-]	15
Minimální součinitel bezpečnosti [-]	3,36

Závěr:

Pevnostní kontrola metodou konečných prvků ukázala, že navrhovaná kratší část výložníku splňuje požadavky únosnosti.

## 5 Návrh a kontrola výložníku

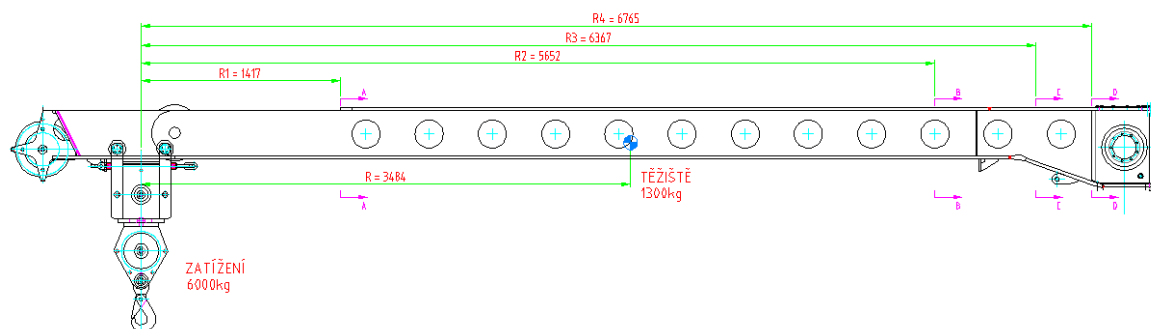
Výložník je navržen tak, aby bylo možné jeho kratší část zaklopit do jeho hlavní nosné části. V této kapitole provedenu kontrolu hlavní části výložníku. Počítám se statickým i dynamickým zatížením. Při kontrole uvažuji i případ, kdy věž nestojí přesně svisle. V tomto případě maximální možné vychýlení věže  $2,5^\circ$ . Tuto nerovnost připočítávám v podobě síly  $F_{sz}$  (24).

### 5.1 Parametry zatížení

Dynamický součinitel:	$f_d = 1,5$
Bezpečné pracovní zatížení:	$m_z = 6000 \text{ kg}$
Hmotnost kladky a posuvného vozíku:	$m_{kv} = 280 \text{ kg}$
Vlastní hmotnost výložníku:	$m_v = 1300 \text{ kg}$

### 5.2 Rozměry

Těžiště:	$R_t = 3484 \text{ mm}$
Rádus ohybu v místě A:	$R_1 = 1417 \text{ mm}$
Rádus ohybu v místě B:	$R_2 = 5652 \text{ mm}$
Rádus ohybu v místě C:	$R_3 = 6367 \text{ mm}$
Rádus ohybu v místě D:	$R_4 = 6765 \text{ mm}$



Obrázek 5.1 Rozměry výložníku

## 5.3 Výpočty

### 5.3.1 Zatížení

Statické zatížení  $F_s$  z rovnice (1):

$$F_s = 60kN$$

Dynamické zatížení  $F_d$  z rovnice (2):

$$F_d = 90kN$$

Statické zatížení ve směru osy z  $F_{sz}$

$$F_{sz} = m_z \cdot g \cdot \sin 2.5 \quad (24)$$

$$F_{sz} = 6000 \cdot 10 \cdot \sin 2.5$$

$$F_{sz} \cong 3kN$$

Dynamické zatížení ve směru osy x  $F_{dz}$

$$F_{dz} = m_z \cdot g \cdot f_d \cdot \sin 2.5 \quad (25)$$

$$F_{dz} = 6000 \cdot 10 \cdot 1.5$$

$$F_{dz} \cong 4kN$$

Momenty kolem osy x  $M_x$ :

Statický moment kolem osy x v místě A  $M_{sxA}$ :

$$M_{sxA} = F_s \cdot R_1 + m_{kv} \cdot g \cdot R_1 \quad (26)$$

$$M_{sxA} = 60000 \cdot 1.417 + 280 \cdot 10 \cdot 1.417$$

$$M_{sxA} = 89kN \cdot m$$

Dynamický moment kolem osy x v místě A  $M_{dxA}$ :

$$\begin{aligned} M_{dxA} &= F_d \cdot R_1 + m_{kv} \cdot g \cdot R_1 \\ M_{dxA} &= 90000 \cdot 1,417 + 280 \cdot 10 \cdot 1,417 \\ M_{dxA} &= 132kN \cdot m \end{aligned} \quad (27)$$

Statický moment kolem osy x v místě B  $M_{sxB}$ :

$$\begin{aligned} M_{sxB} &= F_s \cdot R_2 + m_{kv} \cdot g \cdot R_2 + m_v \cdot g \cdot (R_2 - R) \\ M_{sxB} &= 60000 \cdot 5,652 + 280 \cdot 10 \cdot 5,652 + 1300 \cdot 10 \cdot (5,652 - 3,484) \\ M_{sxB} &= 383kN \cdot m \end{aligned} \quad (28)$$

Dynamický moment kolem osy x v místě B  $M_{dxB}$ :

$$\begin{aligned} M_{dxB} &= F_d \cdot R_2 + m_{kv} \cdot g \cdot R_2 + m_v \cdot g \cdot (R_2 - R) \\ M_{dxB} &= 90000 \cdot 5,652 + 280 \cdot 10 \cdot 5,652 + 1300 \cdot 10 \cdot (5,652 - 3,484) \\ M_{dxB} &= 552kN \cdot m \end{aligned} \quad (29)$$

Statický moment kolem osy x v místě C  $M_{sxC}$ :

$$\begin{aligned} M_{sxC} &= F_s \cdot R_3 + m_{kv} \cdot g \cdot R_3 + m_v \cdot g \cdot (R_3 - R) \\ M_{sxC} &= 60000 \cdot 6,367 + 280 \cdot 10 \cdot 6,367 + 1300 \cdot 10 \cdot (6,367 - 3,484) \\ M_{sxC} &= 438kN \cdot m \end{aligned} \quad (30)$$

Dynamický moment kolem osy x v místě C  $M_{dxC}$ :

$$\begin{aligned} M_{dxC} &= F_d \cdot R_3 + m_{kv} \cdot g \cdot R_3 + m_v \cdot g \cdot (R_3 - R) \\ M_{dxC} &= 90000 \cdot 6,367 + 280 \cdot 10 \cdot 6,367 + 1300 \cdot 10 \cdot (6,367 - 3,484) \\ M_{dxC} &= 629kN \cdot m \end{aligned} \quad (31)$$

Statický moment kolem osy x v místě D  $M_{sxD}$ :

$$\begin{aligned} M_{sxD} &= F_s \cdot R_4 + m_{kv} \cdot g \cdot R_4 + m_v \cdot g \cdot (R_4 - R) \\ M_{sxD} &= 60000 \cdot 6,765 + 280 \cdot 10 \cdot 6,765 + 1300 \cdot 10 \cdot (6,765 - 3,484) \\ M_{sxD} &= 468 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned} \quad (32)$$

Dynamický moment kolem osy x v místě D  $M_{dxD}$ :

$$\begin{aligned} M_{dxD} &= F_d \cdot R_4 + m_{kv} \cdot g \cdot R_4 + m_v \cdot g \cdot (R_4 - R) \\ M_{dxD} &= 90000 \cdot 6,765 + 280 \cdot 10 \cdot 6,765 + 1300 \cdot 10 \cdot (6,765 - 3,484) \\ M_{dxD} &= 671 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned} \quad (33)$$

### Momenty kolem osy y $M_y$ :

Statický moment kolem osy y v místě A  $M_{syA}$ :

$$\begin{aligned} M_{syA} &= F_s \cdot \sin 2.5 \cdot R_1 \\ M_{syA} &= 60000 \cdot \sin 2.5 \cdot 1,417 \\ M_{syA} &= 3,7 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned} \quad (34)$$

Dynamický moment kolem osy y v místě A  $M_{dyA}$ :

$$\begin{aligned} M_{dyA} &= F_s \cdot \sin 2.5 \cdot R_1 \\ M_{dyA} &= 90000 \cdot \sin 2.5 \cdot 1,417 \\ M_{dyA} &= 5,6 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned} \quad (35)$$

Statický moment kolem osy y v místě B  $M_{syB}$ :

$$\begin{aligned} M_{syB} &= F_s \cdot \sin 2.5 \cdot R_1 \\ M_{syB} &= 60000 \cdot \sin 2.5 \cdot 5,652 \\ M_{syB} &= 14,8 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned} \quad (36)$$

Dynamický moment kolem osy y v místě B  $M_{dyB}$ :

$$M_{dyB} = F_s \cdot \sin 2.5 \cdot R_1 \quad (37)$$

$$M_{dyB} = 90000 \cdot \sin 2.5 \cdot 5,652$$

$$M_{dyB} = 22,2kN \cdot m$$

Statický moment kolem osy y v místě C  $M_{syC}$ :

$$M_{syC} = F_s \cdot \sin 2.5 \cdot R_1 \quad (38)$$

$$M_{syC} = 60000 \cdot \sin 2.5 \cdot 6,367$$

$$M_{syC} = 16,7kN \cdot m$$

Dynamický moment kolem osy y v místě C  $M_{dyC}$ :

$$M_{dyC} = F_s \cdot \sin 2.5 \cdot R_1 \quad (39)$$

$$M_{dyC} = 90000 \cdot \sin 2.5 \cdot 6,367$$

$$M_{dyC} = 25kN \cdot m$$

Statický moment kolem osy y v místě D  $M_{syD}$ :

$$M_{syD} = F_s \cdot \sin 2.5 \cdot R_1 \quad (40)$$

$$M_{syD} = 60000 \cdot \sin 2.5 \cdot 6,765$$

$$M_{syD} = 17,7kN \cdot m$$

Dynamický moment kolem osy y v místě D  $M_{dyD}$ :

$$M_{dyD} = F_s \cdot \sin 2.5 \cdot R_1 \quad (41)$$

$$M_{dyD} = 90000 \cdot \sin 2.5 \cdot 6,765$$

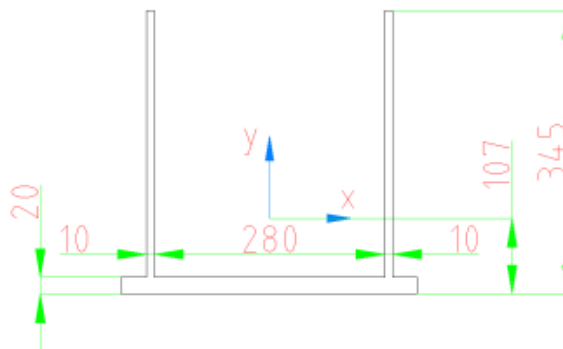
$$M_{dyD} = 26,6kN \cdot m$$

### 5.3.2 Kontrola výložníku v místě A

#### Rozměry:

Dané hodnoty:

- Rádus ohybu v místě A:  $R_1 = 1417 \text{ mm}$
- Plocha průřezu:  $S_1 = 13500 \text{ mm}^2$
- Moment setrvačnosti kolem osy x:  $J_{x1} = 159102629 \text{ mm}^4$
- Moment setrvačnosti kolem osy y:  $J_{y1} = 214476666 \text{ mm}^4$
- Poloměr setrvačnosti kolem osy x:  $x_1 = 107,7 \text{ mm}$
- Poloměr setrvačnosti kolem osy y:  $y_1 = 180 \text{ mm}$



Obrázek 5.2 Průřez výložníku v místě A

Vypočtené hodnoty:

- Modul průřezu kolem osy x:

$$W_{bx1} = \frac{J_{x1}}{x_1} \quad (42)$$

$$W_{bx1} = \frac{159102629}{107,7}$$

$$W_{bx1} = 1,477 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$



- Modul průřezu kolem osy y:

$$W_{by1} = \frac{J_{y1}}{y_1} \quad (43)$$

$$W_{by1} = \frac{214476666}{180}$$

$$W_{by1} = 1,19 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

### Zatížení statické

Ohybové zatížení  $\sigma_{o \text{ stat}}$ :

$$\sigma_{o \text{ stat } x1} = \frac{F_s \cdot R_1 + m_{kv} \cdot g \cdot R_1}{W_{bx1}} \quad (44)$$

$$\sigma_{o \text{ stat } x1} = \frac{60000 \cdot 1417 + 280 \cdot 10 \cdot 1417}{1,477 \cdot 10^6} = 60 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{o \text{ stat } y1} = \frac{F_s \cdot \sin 2,5 \cdot R_1}{W_{by1}} \quad (45)$$

$$\sigma_{o \text{ stat } y1} = \frac{60000 \cdot \sin 2,5 \cdot 1417}{1,19 \cdot 10^6} = 3,1 \text{ MPa}$$

Střihové napětí  $\tau_{s \text{ stat}}$ :

$$\tau_{s \text{ stat}} = \frac{F_s}{2 \cdot (345 - 20) \cdot 10} \quad (46)$$

$$\tau_{s \text{ stat}} = \frac{60000}{6500}$$

$$\tau_{s \text{ stat}} = 9,2 \text{ MPa}$$

Tlakové napětí  $\sigma_{p \text{ stat}}$ :

$$\sigma_{p \text{ stat}} = \frac{F_s}{S_1} \quad (47)$$

$$\sigma_{p \text{ stat}} = \frac{60000}{13500}$$

$$\sigma_{p \text{ stat}} = 4,4 \text{ MPa}$$

Kombinované napětí  $\sigma_{kom1 stat}$ :

$$\sigma_{kom1 stat} = \sigma_{px stat} + \sigma_{o stat x1} + \sigma_{o stat y1} \quad (48)$$

$$\sigma_{kom1 stat} = 4,4 + 60 + 3,1$$

$$\sigma_{kom1 stat} = 67,5 MPa$$

Redukované napětí  $\sigma_{red1}$ :

$$\sigma_{red 1} = \sqrt{\sigma_{kom1 stat}^2 + 3 \cdot \sigma_{s stat}^2} \quad (49)$$

$$\sigma_{red 1} = \sqrt{67,5^2 + 3 \cdot 9,2^2}$$

$$\sigma_{red 1} = 69,4 MPa$$

Deformace konce výložníku  $d_v$ :

$$d_v = \frac{F_s \cdot R_1^3}{3 \cdot E \cdot J_{x1}} \quad (50)$$

$$d_v = \frac{60000 \cdot 1417^3}{3 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 159102629}$$

$$d_v = 1,7 mm$$

### Zatížení dynamické

Ohybové zatížení  $\sigma_{o dyn}$ :

$$\sigma_{o dyn x1} = \frac{F_d \cdot R_1 + m_{kv} \cdot g \cdot R_1}{W_{bx1}} \quad (51)$$

$$\sigma_{o dyn x1} = \frac{90000 \cdot 1417 + 280 \cdot 10 \cdot 1417}{1,477 \cdot 10^6}$$

$$\sigma_{o dyn x1} = 89 MPa$$

$$\sigma_{o dyn y1} = \frac{F_d \cdot \sin 2,5 \cdot R_1}{W_{by1}} \quad (52)$$

$$\sigma_{o dyn y1} = \frac{90000 \cdot \sin 2,5 \cdot 1417}{1,19 \cdot 10^6}$$

$$\sigma_{o dyn y1} = 4,7 MPa$$

Střihové napětí  $\sigma_{s \text{ dyn}}$ :

$$\begin{aligned}\sigma_{s1 \text{ dyn}} &= \frac{F_d}{2 \cdot (345 - 20) \cdot 10} \\ \sigma_{s1 \text{ dyn}} &= \frac{90000}{6500} \\ \sigma_{s1 \text{ dyn}} &= 13,8 \text{ MPa}\end{aligned}\tag{53}$$

Tlakové napětí  $\sigma_{px \text{ dyn}}$ :

$$\begin{aligned}\sigma_{px1 \text{ dyn}} &= \frac{F_d}{S_1} \\ \sigma_{px1 \text{ dyn}} &= \frac{90000}{13500} \\ \sigma_{px1 \text{ dyn}} &= 6,7 \text{ MPa}\end{aligned}\tag{54}$$

Kombinované napětí  $\sigma_{kom1 \text{ dyn}}$ :

$$\begin{aligned}\sigma_{kom1 \text{ dyn}} &= \sigma_{px \text{ dyn}} + \sigma_{o \text{ dyn } x1} + \sigma_{o \text{ dyn } y1} \\ \sigma_{kom1 \text{ dyn}} &= 6,7 + 89 + 4,7 \\ \sigma_{kom1 \text{ dyn}} &= 100,4 \text{ MPa}\end{aligned}\tag{55}$$

Redukované napětí  $\sigma_{red1}$ :

$$\begin{aligned}\sigma_{red1} &= \sqrt{\sigma_{kom1 \text{ dyn}}^2 + 3 \cdot \sigma_{s \text{ dyn}}^2} \\ \sigma_{red1} &= \sqrt{100,4^2 + 3 \cdot 13,8^2} \\ \sigma_{red1} &= 103,2 \text{ MPa}\end{aligned}\tag{56}$$

Deformace konce výložníku  $d_v$ :

$$\begin{aligned}d_v &= \frac{F_d \cdot R_1^3}{3 \cdot E \cdot J_{x1}} \\ d_v &= \frac{90000 \cdot 1417^3}{3 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 159102629} \\ d_v &= 2,6 \text{ mm}\end{aligned}\tag{57}$$

## Kontrola bezpečnosti

- Dovolené napětí:  $\sigma_d = 690 \text{ MPa}$

- Statická bezpečnost  $k_s$

$$k_s = \frac{\sigma_d}{\sigma_{red \text{ stat}}} \quad (58)$$

$$k_s = \frac{690}{69,4} = 9,9 \quad \text{Vyhovuje}$$

- Dynamická bezpečnost  $k_d$

$$k_d = \frac{\sigma_d}{\sigma_{red \text{ dyn}}} \quad (59)$$

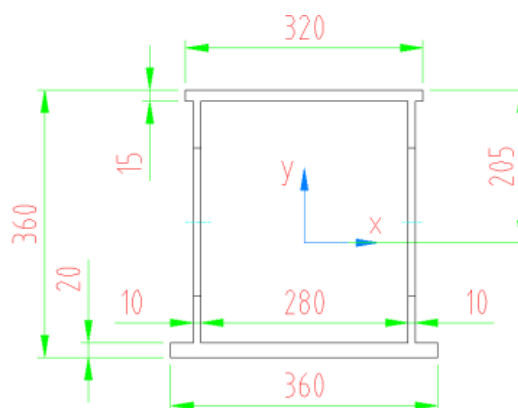
$$k_d = \frac{690}{103,2} = 6,7 \quad \text{Vyhovuje}$$

### 5.3.3 Kontrola výložníku v místě B

#### Rozměry:

Dané hodnoty:

- Rádus ohybu v místě B:  $R_2 = 5652 \text{ mm}$
- Plocha průřezu:  $S_2 = 14500 \text{ mm}^2$
- Moment setrvačnosti kolem osy x:  $J_{x2} = 386135311 \text{ mm}^4$
- Moment setrvačnosti kolem osy y:  $J_{y2} = 171303333 \text{ mm}^4$
- Poloměr setrvačnosti kolem osy x:  $x_2 = 205 \text{ mm}$
- Poloměr setrvačnosti kolem osy y:  $y_2 = 180 \text{ mm}$



Obrázek 5.3      Průřez v místě B

Vypočtené hodnoty:

- Modul průřezu kolem osy x:

$$W_{bx2} = \frac{J_{x2}}{x_2} \quad (60)$$

$$W_{bx2} = \frac{38613531}{205}$$

$$W_{bx2} = 1,884 \cdot 10^6 mm^3$$

- Modul průřezu kolem osy y:

$$W_{by2} = \frac{J_{y2}}{2} \quad (61)$$

$$W_{by2} = \frac{171303333}{180}$$

$$W_{by2} = 0,952 \cdot 10^6 mm^3$$

### Zatížení statické

### Ohybové zatížení $\sigma_{o \text{ stat}}$ :

$$\sigma_{o stat x2} = \frac{F_s \cdot R_2 + m_{kv} \cdot g \cdot R_2 + m_v \cdot g \cdot (R_2 - R)}{W_{bx2}} \quad (62)$$

$$\sigma_{o stat x2} = \frac{60000 \cdot 5652 + 280 \cdot 10 \cdot 5652 + 1300 \cdot 10 \cdot (5652 - 3484)}{1,884 \cdot 10^6}$$

$$\sigma_{o\ stat\ x2} = 203,4\ MPa$$

$$\sigma_{o \text{ stat } y2} = \frac{F_s \cdot \sin 2,5 \cdot R_2}{W_{by2}} \quad (63)$$

$$\sigma_{o \text{ stat } y2} = \frac{60000 \cdot \sin 2,5 \cdot 5652}{0,952 \cdot 10^6}$$

$$\sigma_{o \text{ stat } y2} = 15,5 \text{ MPa}$$

Střihové napětí  $\sigma_{s \text{ stat}}$ :

$$\sigma_{s2 \text{ stat}} = \frac{F_s}{2 \cdot [360\text{mm} - (15\text{mm} + 20\text{mm} + 200\text{mm})] \cdot 10\text{mm}} \quad (64)$$

$$\sigma_{s2 \text{ stat}} = \frac{60000}{2500}$$

$$\sigma_{s2 \text{ stat}} = 24 \text{ MPa}$$

Tlakové napětí  $\sigma_{px \text{ stat}}$ :

$$\sigma_{px2 \text{ stat}} = \frac{F_s}{S_2} \quad (65)$$

$$\sigma_{px2 \text{ stat}} = \frac{60000}{14500}$$

$$\sigma_{px2 \text{ stat}} = 4,1 \text{ MPa}$$

Kombinované napětí  $\sigma_{kom1 \text{ stat}}$ :

$$\sigma_{kom2 \text{ stat}} = \sigma_{px \text{ stat}} + \sigma_{o \text{ stat } x2} + \sigma_{o \text{ stat } y2} \quad (66)$$

$$\sigma_{kom2 \text{ stat}} = 4,1 + 203,4 + 15,5$$

$$\sigma_{kom2 \text{ stat}} = 223 \text{ MPa}$$

Redukované napětí  $\sigma_{red1}$ :

$$\sigma_{red2} = \sqrt{\sigma_{kom2 \text{ stat}}^2 + 3 \cdot \sigma_{s2 \text{ stat}}^2} \quad (67)$$

$$\sigma_{red2} = \sqrt{223^2 + 3 \cdot 24^2}$$

$$\sigma_{red2} = 226,8 \text{ MPa}$$

Deformace konce výložníku  $d_s$ :

$$d_s = \frac{F_s \cdot R_2^3}{3 \cdot E \cdot J_{x2}} \quad (68)$$

$$d_s = \frac{60000 \cdot 5652^3}{3 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 386135311}$$

$$d_s = 44,5 \text{ mm}$$

### Zatížení dynamické

Ohybové zatížení  $\sigma_{o \text{ dyn}}$ :

$$\sigma_{o \text{ dyn } x2} = \frac{F_d \cdot R_2 + m_{kv} \cdot g \cdot R_2 + m_v \cdot g \cdot (R_3 - R)}{W_{bx2}} \quad (69)$$

$$\sigma_{o \text{ dyn } x2} = \frac{90000 \cdot 5652 + 280 \cdot 10 \cdot 5652 + 1300 \cdot 10 \cdot (5652 - 3484)}{1,884 \cdot 10^6}$$

$$\sigma_{o \text{ dyn } x2} = 293,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{o \text{ dyn } y2} = \frac{F_d \cdot \sin 2,5 \cdot R_2}{W_{by2}} \quad (70)$$

$$\sigma_{o \text{ dyn } y2} = \frac{90000 \cdot \sin 2,5 \cdot 5652}{0,952 \cdot 10^6}$$

$$\sigma_{o \text{ dyn } y2} = 23,3 \text{ MPa}$$

Střihové napětí  $\sigma_{s \text{ dyn}}$ :

$$\sigma_{s2 \text{ dyn}} = \frac{F_d}{2 \cdot [360 \text{ mm} - (15 \text{ mm} + 20 \text{ mm} + 200 \text{ mm})] \cdot 10 \text{ mm}} \quad (71)$$

$$\sigma_{s2 \text{ dyn}} = \frac{90000}{2500}$$

$$\sigma_{s2 \text{ dyn}} = 36 \text{ MPa}$$

Tlakové napětí  $\sigma_{px\ dyn}$ :

$$\sigma_{px2\ dyn} = \frac{F_d}{S_2} \quad (72)$$

$$\sigma_{px2\ dyn} = \frac{90000}{14500}$$

$$\sigma_{px2\ dyn} = 6,2\ MPa$$

Kombinované napětí  $\sigma_{kom1\ dyn}$ :

$$\sigma_{kom2\ dyn} = \sigma_{px2\ dyn} + \sigma_{o\ dyn\ x2} + \sigma_{o\ dyn\ y2} \quad (73)$$

$$\sigma_{kom2\ dyn} = 6,2 + 293,4 + 23,3$$

$$\sigma_{kom2\ dyn} = 322,9\ MPa$$

Redukované napětí  $\sigma_{red1}$ :

$$\sigma_{red\ 2} = \sqrt{\sigma_{kom2\ dyn}^2 + 3 \cdot \sigma_{s2\ dyn}^2} \quad (74)$$

$$\sigma_{red\ 2} = \sqrt{322,9^2 + 3 \cdot 36^2}$$

$$\sigma_{red\ 2} = 328,9\ MPa$$

Deformace konce výložníku  $d_d$ :

$$d_d = \frac{F_d \cdot R_2^3}{3 \cdot E \cdot J_{x2}} \quad (76)$$

$$d_d = \frac{90000 \cdot 5652^3}{3 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 386135311}$$

$$d_d = 66,8\ mm$$



## Kontrola bezpečnosti

- Dovolené napětí:  $\sigma_d = 690 \text{ MPa}$
- Statická bezpečnost  $k_s$

$$k_s = \frac{\sigma_d}{\sigma_{red stat}} \quad (77)$$

$$k_s = \frac{690}{223} = 3,09 \quad \text{Vyhovuje}$$

- Dynamická bezpečnost  $k_d$

$$k_d = \frac{\sigma_d}{\sigma_{red dyn}} \quad (78)$$

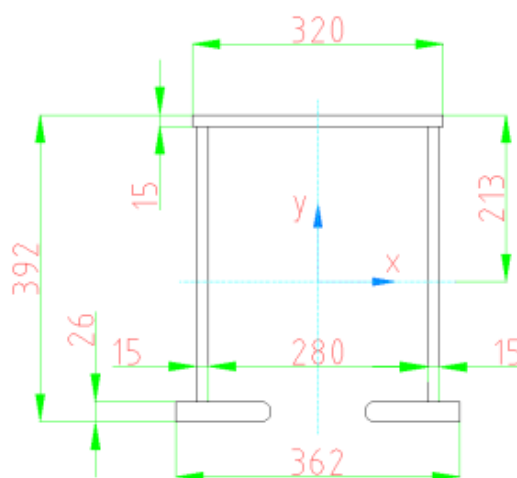
$$k_d = \frac{690}{328,9} = 2,09 \quad \text{Vyhovuje}$$

### 5.3.4 Kontrola výložníku v místě C

#### Rozměry:

Dané hodnoty:

- Rádus ohybu v místě C:  $R_3 = 6367 \text{ mm}$
- Moment setrvačnosti kolem osy x:  $J_{x3} = 519874919 \text{ mm}^4$
- Poloměr setrvačnosti kolem osy x:  $x_3 = 213 \text{ mm}$



Obrázek 5.4 Průřez v místě C

Vypočtené hodnoty:

- Modul průřezu kolem osy x:

$$W_{bx3} = \frac{J_{x3}}{x_3} \quad (79)$$

$$W_{bx3} = \frac{519874919}{213}$$

$$W_{bx3} = 2,441 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

Zatížení statické

Ohybové zatížení  $\sigma_{o \text{ stat}}$ :

$$\sigma_{o \text{ stat } x3} = \frac{F_s \cdot R_3 + m_{kv} \cdot g \cdot R_3 + m_v \cdot g \cdot (R_3 - R)}{W_{bx3}} \quad (80)$$

$$\sigma_{o \text{ stat } x3} = \frac{60000 \cdot 6367 + 280 \cdot 10 \cdot 6367 + 1300 \cdot 10 \cdot (6367 - 3484)}{2,441 \cdot 10^6}$$

$$\sigma_{o \text{ stat } x3} = 179 \text{ MPa}$$

Zatížení dynamické

Ohybové zatížení  $\sigma_{o \text{ dyn}}$ :

$$\sigma_{o \text{ dyn } x2} = \frac{F_d \cdot R_2 + m_{kv} \cdot g \cdot R_2 + m_v \cdot g \cdot (R_3 - R)}{W_{bx3}} \quad (81)$$

$$\sigma_{o \text{ dyn } x2} = \frac{90000 \cdot 5652 + 280 \cdot 10 \cdot 5652 + 1300 \cdot 10 \cdot (6367 - 3484)}{1,884 \cdot 10^6}$$

$$\sigma_{o \text{ dyn } x2} = 257 \text{ MPa}$$

Kontrola bezpečnosti

- Dovolené napětí:  $\sigma_d = 690 \text{ MPa}$
- Statická bezpečnost  $k_s$

$$k_s = \frac{\sigma_d}{\sigma_{red \text{ stat}}} \quad (82)$$

$$k_s = \frac{690}{179} = 3,85 \quad \text{Vyhovuje}$$

- Dynamická bezpečnost  $k_d$

$$k_d = \frac{\sigma_d}{\sigma_{red \text{ dyn}}} \quad (83)$$

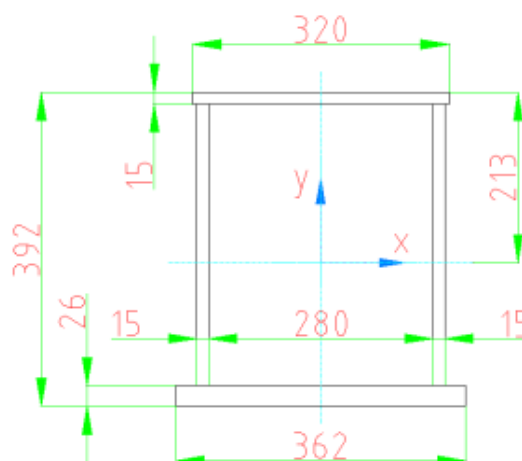
$$k_d = \frac{690}{257} = 2,68 \quad \text{Vyhovuje}$$

### 5.3.5 Kontrola výložníku v místě D

#### Rozměry:

Dané hodnoty:

- Rádus ohybu v místě D:  $R_4 = 6765 \text{ mm}$
- Moment setrvačnosti kolem osy x:  $J_{x4} = 1266936371 \text{ mm}^4$
- Poloměr setrvačnosti kolem osy x:  $x_4 = 310 \text{ mm}$



Obrázek 5.5 Průřez v místě D

Vypočtené hodnoty:

- Modul průřezu kolem osy x:

$$W_{bx4} = \frac{J_{x4}}{x_4} \quad (84)$$

$$W_{bx4} = \frac{1266936371}{310}$$

$$W_{bx4} = 4,087 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

Zatížení statické

Ohybové zatížení  $\sigma_{o \text{ stat}}$ :

$$\sigma_{o \text{ stat } x3} = \frac{F_s \cdot R_4 + m_{kv} \cdot g \cdot R_4 + m_v \cdot g \cdot (R_4 - R)}{W_{bx4}} \quad (85)$$

$$\sigma_{o \text{ stat } x3} = \frac{60000 \cdot 6765 + 280 \cdot 10 \cdot 6765 + 1300 \cdot 10 \cdot (6765 - 3484)}{4,087 \cdot 10^6}$$

$$\sigma_{o \text{ stat } x3} = 105 \text{ MPa}$$

Zatížení dynamické

Ohybové zatížení  $\sigma_{o \text{ dyn}}$ :

$$\sigma_{o \text{ dyn } x3} = \frac{F_d \cdot R_4 + m_{kv} \cdot g \cdot R_4 + m_v \cdot g \cdot (R_4 - R)}{W_{bx4}} \quad (86)$$

$$\sigma_{o \text{ dyn } x3} = \frac{90000 \cdot 6765 + 280 \cdot 10 \cdot 6765 + 1300 \cdot 10 \cdot (6765 - 3484)}{4,087 \cdot 10^6}$$

$$\sigma_{o \text{ dyn } x3} = 155 \text{ MPa}$$

Kontrola bezpečnosti

- Dovolené napětí:  $\sigma_d = 690 \text{ MPa}$

- Statická bezpečnost  $k_s$

$$k_s = \frac{\sigma_d}{\sigma_{red \text{ stat}}} \quad (87)$$

$$k_s = \frac{690}{105} = 6,57 \quad \text{Vyhovuje}$$

- Dynamická bezpečnost  $k_d$

$$k_d = \frac{\sigma_d}{\sigma_{red \text{ dyn}}} \quad (88)$$

$$k_d = \frac{690}{155} = 4,45 \quad \text{Vyhovuje}$$

### 5.3.6 Kontrola ok, pro uchycení čepu, v programu IMEP

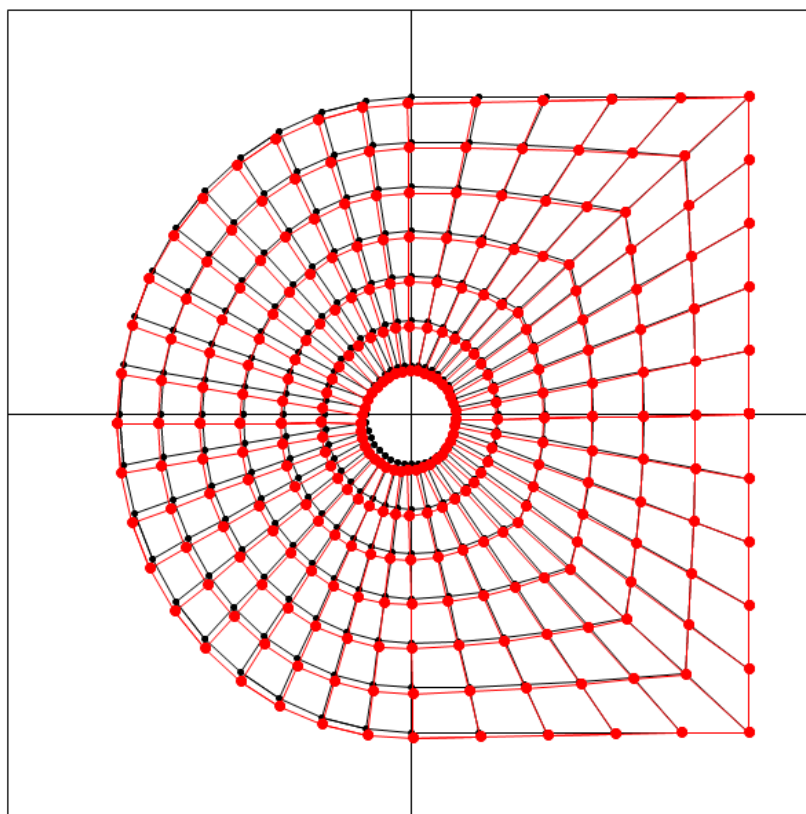
Postup kontroly ok výložníku je shodný s postupem kontroly ok u kratší části výložníku. Rozdíl je pouze ve vnějším rádiu oka.

Tabulka 5.1 Parametry zatížení pro výpočet v programu IMEP

Vstupní hodnoty		
geometrie	vnější radius $R$ [mm]	160
	průměr otvoru $d$ [mm]	50
	tloušťka $t$ [mm]	20
	vertikální excentricita díry $e_v$ [mm]	0
	horizontální excentricita díry $e_h$ [mm]	0
	sklon okraje vlevo $\beta_L$ [°]	90
	sklon okraje vpravo $\beta_R$ [°]	90
	vzdálenost k okraji dole $d_B$ : [mm]	0
	vzdálenost k okraji vlevo $d_L$ : [mm]	0
	vzdálenost k okraji vpravo $d_R$ : [mm]	0
zatížení	zatěžující síla [kN]	77.5
	úhel působení zatěžující síly [°]	-35
	kontaktní úhel [°]	120
	omezení ze spoda 1...ano, 0...ne	1
	omezení z leva 1...ano, 0...ne	0
	omezení z prava 1...ano, 0...ne	0
sít	počet elementu na 90° vnitřního radiusu	10
	počet elementů mezi radiusy	6
	korekce hustoty sítě: 0=automatické, 1=rovnoměrné velikosti	0
ostatní	dovolené napětí materiálu [MPa]	690
	dovolené maximální napětí (hodnocení napětí na vnitřním radiusu) [%]	100
	požadovaná bezpečnost [ - ]	3
	průměrné tlakové napětí [MPa]	77.5

Tabulka 5.2 Výsledky vypočtené programem IMEP

Výsledky	
maximální napětí - díra [Mpa]	98.9
maximální napětí - vnější radius [Mpa]	16.8
maximální dovolené napětí [kN]	230.0
maximální napětí - % dovolěného	14.3
bezpečnost - napětí v vnějším radiusu [-]	41.19
bezpečnost - v tlaku [-]	8.9



Obrázek 5.6 Graf průběhu deformace – výstup z programu IMEP

Závěr:

Pevnostní kontrola v programu IMEP ukázala, že oka mají dostatečnou pevnost pro dané zatížení.

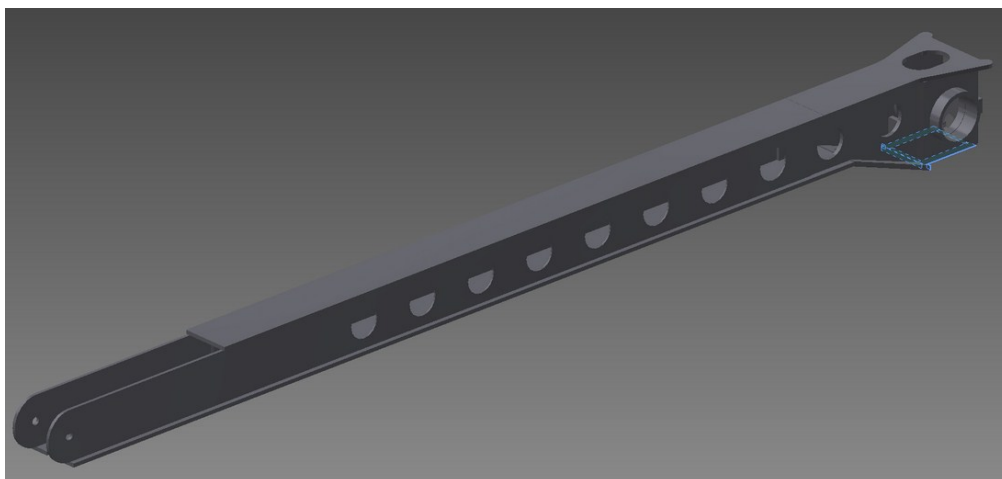
## 5.4 Kontrola výložníku metodou konečných prvků

Pro kontrolu výložníku metodou konečných prvků jsem použil modul pevnostní analýzy v programu Autodesk Inventor 2012. Jedná se o poměrně jednoduchý modul, kdy se zatížení a vazby zadávají přímo v prostředí modelování, bez potřeby převádění modelu do jiných speciálních formátů pro jiné programy. Kontrola je provedena pro dynamické zatížení, proto je potřeba, aby výložník splňoval dynamickou bezpečnost  $k_d=1,5$ . V programu jsem zadal dynamické zatížení od břemene, dovolené napětí materiálu a body pro uchycení a kontakt s delší částí výložníku (viz. Obrázek 5.7).

### 5.4.1 Vstupní hodnoty pro pevnostní analýzu

Zatěžující síla:	$F_d = 90\text{kN}$
Dovolené napětí materiálu:	$\sigma_d = 690\text{ MPa}$

Plochy uchycení hlavní části výložníku jsou místa ve kterých je výložník přivařen k podstavci. (viz. Obrázek 5.7)

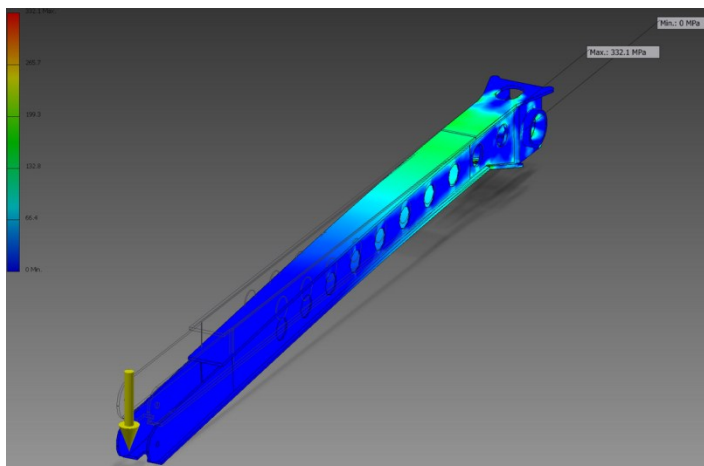


Obrázek 5.7 Plochy uchycení hlavní části výložníku

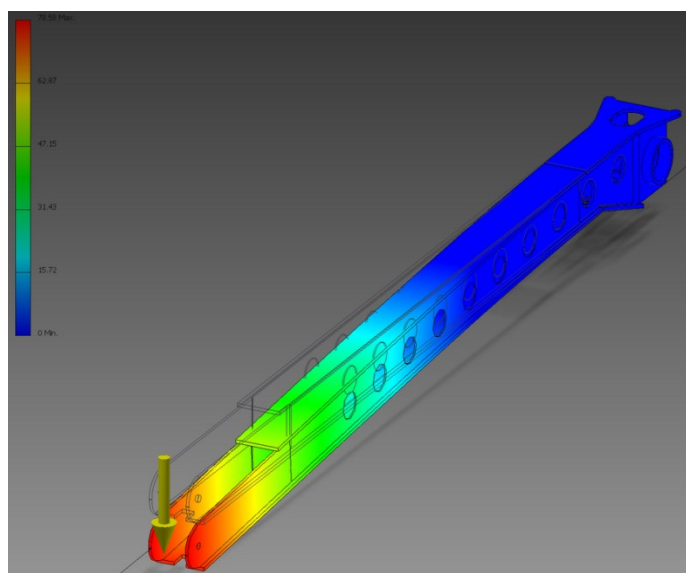


## Výstupní hodnoty pevnostní analýzy

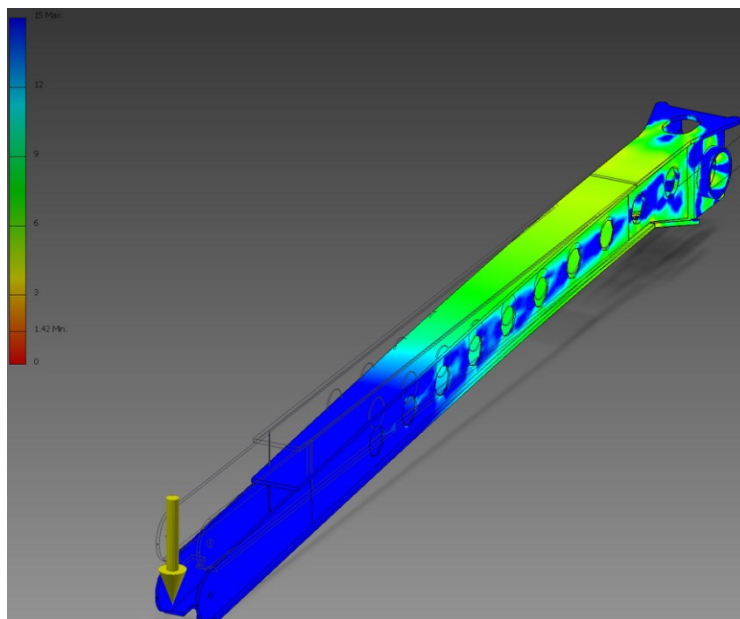
Výsledkem kontroly v programu Inventor jsou grafické znázornění napětí (viz. Obrázek 5.8), posunutí (viz. Obrázek 5.9) a součinitele bezpečnosti (viz. Obrázek 5.10). Výsledky analýzy jsou zapsány v Tabulce 6.



Obrázek 5.8 Znázornění napětí v hlavní části výložníku



Obrázek 5.9 Znázornění posunutí hlavní části výložníku



Obrázek 5.10 Součinitele bezpečnosti v hlavní části výložníku

Tabulka 5.3 Výstupní hodnoty pevnostní analýzy

Maximální napětí [MPa]	332,1
Maximální posunutí [mm]	78,58
Maximální součinitel bezpečnosti [-]	15
Minimální součinitel bezpečnosti [-]	1,42

### Závěr:

Pevnostní výpočet metodou konečných prvků ukázal, že část výložníku uchycená k podstavci nesplňuje požadovanou bezpečnost a proto jí bude třeba ještě zpevnit nebo použít lepší materiál.

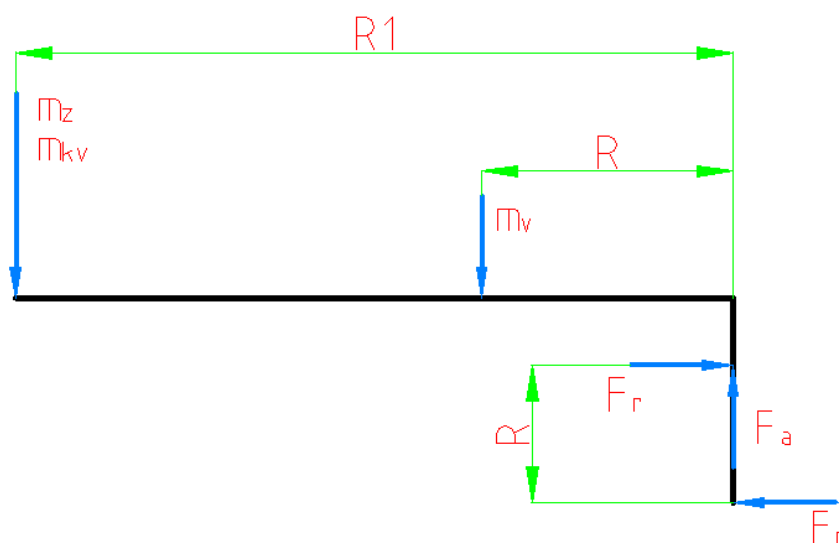
## 6 Návrh a kontrola podstavce výložníku

### 6.1 Parametry zatížení

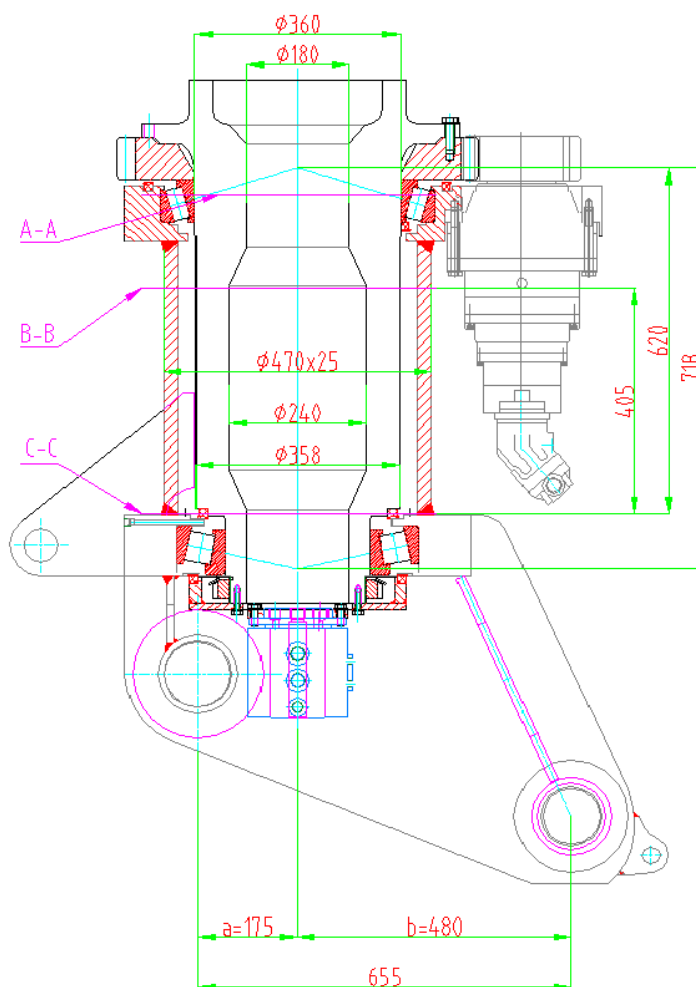
Dynamický součinitel:	$f_d = 1,5$
Bezpečné pracovní zatížení:	$m_z = 6\,000\text{ kg}$
Hmotnost kladky a posuvného vozíku:	$m_{kv} = 280\text{ kg}$
Vlastní hmotnost výložníku:	$m_v = 2900\text{ kg}$

### 6.2 Rozměry

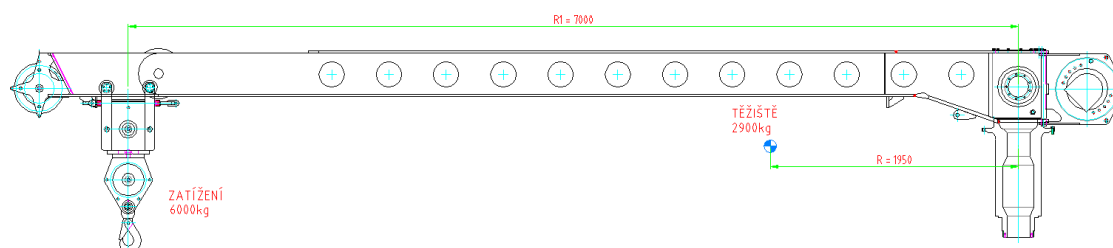
Vzdálenost těžiště od osy Y:	$R = 1950\text{ mm}$
Maximální dosah:	$R_1 = 7\text{ m} = 7000\text{ mm}$
Rozteč ložisek:	$R_L = 718\text{ mm}$
Rádus ohybu pro řez B – B:	$R_2 = 405\text{ mm}$
Rádus ohybu pro řez C – C:	$R_3 = 620\text{ mm}$



Obrázek 6.1 Nákres zatížení



Obrázek 6.2 Rozměry pro pevnostní kontrolu podstavce



Obrázek 6.3 Dosah a těžiště výložníku

## 6.3 Výpočty

### 6.3.1 Zatížení

Zatížení a reakce působící na čep jsou znázorněny na Obrázku 6.1.

Statické zatížení  $F_s$  (1):

$$F_s = 60kN$$

Dynamické zatížení  $F_d$  (2):

$$F_d = 90kN$$

Statický moment  $M_s$

$$\begin{aligned} M_s &= F_s \cdot R_1 + m_{kv} \cdot g \cdot R_1 + m_v \cdot g \cdot R \\ M_s &= 60000 \cdot 7 + 280 \cdot 10 \cdot 7 + 2900 \cdot 10 \cdot 1950 \\ M_s &= 496kN \cdot m \end{aligned} \tag{89}$$

Dynamický moment  $M_d$

$$\begin{aligned} M_d &= F_d \cdot R_1 + m_{kv} \cdot g \cdot R_1 + m_v \cdot g \cdot R \\ M_d &= 90000 \cdot 7 + 280 \cdot 10 \cdot 7 + 2900 \cdot 10 \cdot 1950 \\ M_d &= 706kN \cdot m \end{aligned} \tag{90}$$

### 6.3.2 Reakce v ložiscích

Působení reakcí viz. Obrázek 6.1.

Radiální

- Statická

$$F_{r \text{ stat.}} = \frac{M_s}{R_L} \quad (91)$$

$$F_{r \text{ stat.}} = \frac{496}{0,718}$$

$$F_{r \text{ stat.}} = 690 \text{ kN}$$

- Dynamická

$$F_{r \text{ dyn.}} = \frac{M_d}{R_L} \quad (92)$$

$$F_{r \text{ dyn.}} = \frac{M_d}{R_L} = \frac{706}{0,718}$$

$$F_{r \text{ dyn.}} = 983 \text{ kN}$$

Axiální

- Statická

$$F_{a \text{ stat.}} = F_s + m_{kv} \cdot g + m_v \cdot g \quad (93)$$

$$F_{a \text{ stat.}} = 60000 + 280 \cdot 10 + 2900 \cdot 10$$

$$F_{a \text{ stat.}} = 92 \text{ kN}$$

- Dynamická

$$F_{a \text{ dyn.}} = F_d + m_{kv} \cdot g + m_v \cdot g \quad (94)$$

$$F_{a \text{ dyn.}} = 90000 + 280 \cdot 10 + 2900 \cdot 10$$

$$F_{a \text{ dyn.}} = 121,8 \text{ kN}$$

### 6.3.3 Kontrola podstavce v místě A – A

Rozměry (viz. Obrázek 6.2):

- Vnější průměr:  $D = 360 \text{ mm}$
- Vnitřní průměr:  $d = 180 \text{ mm}$

Modul průřezu  $W_b$

$$W_b = \left(\frac{\pi}{32}\right) \cdot \left(\frac{D^4 - d^4}{D}\right) \quad (95)$$

$$W_b = \left(\frac{\pi}{32}\right) \cdot \left(\frac{360^4 - 180^4}{360}\right)$$

$$W_b = 4294164,5 \text{ mm}^3$$

Ohybové zatížení  $\sigma_o$

- Statické

$$\sigma_{o \text{ stat}} = \frac{M_s}{W_b} \quad (96)$$

$$\sigma_{o \text{ stat}} = \frac{496 \cdot 10^6}{4294164,5}$$

$$\sigma_{o \text{ stat}} = 115,5 \text{ MPa}$$

- Dynamické

$$\sigma_{o \text{ dyn}} = \frac{M_d}{W_b} \quad (97)$$

$$\sigma_{o \text{ dyn}} = \frac{706 \cdot 10^6}{4294164,5}$$

$$\sigma_{o \text{ dyn}} = 164,4 \text{ MPa}$$

Tlakové zatížení  $\sigma_p$ 

- Statické:

$$\sigma_{p \text{ stat}} = \frac{F_s + (m_{kv} + m_v) \cdot g}{\frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}} \quad (98)$$

$$\sigma_{p \text{ stat}} = \frac{60000 + (280 + 2900) \cdot 10}{\frac{\pi \cdot (360^2 - 180^2)}{4}}$$

$$\sigma_{p \text{ stat}} = 1,08 \text{ MPa}$$

- Dynamické:

$$\sigma_{p \text{ dyn}} = \frac{F_d + (m_{kv} + m_v) \cdot g}{\frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}} \quad (99)$$

$$\sigma_{p \text{ dyn}} = \frac{90000 + (280 + 2900) \cdot 10}{\frac{\pi \cdot (360^2 - 180^2)}{4}}$$

$$\sigma_{p \text{ dyn}} = 1,6 \text{ MPa}$$

Redukované zatížení  $\sigma_{\text{red}}$ 

- Statické

$$\sigma_{\text{red stat}} = \sigma_{o \text{ stat}} + \sigma_{t \text{ stat}} \quad (100)$$

$$\sigma_{\text{red stat}} = 115,5 + 1,08$$

$$\sigma_{\text{red stat}} \cong 117 \text{ MPa}$$

- Dynamické

$$\sigma_{\text{red dyn}} = \sigma_{o \text{ dyn}} + \sigma_{t \text{ dyn}} \quad (101)$$

$$\sigma_{\text{red dyn}} = 164,4 + 1,6$$

$$\sigma_{\text{red dyn}} \cong 170 \text{ MPa}$$



## Kontrola bezpečnosti

- Dovolené napětí:  $\sigma_d = 360 \text{ MPa}$

- Statická bezpečnost  $k_s$

$$k_s = \frac{\sigma_d}{\sigma_{red \text{ stat}}} \quad (102)$$

$$k_s = \frac{360}{117} = 3,08$$

Vyhovuje

- Dynamická bezpečnost  $k_d$

$$k_d = \frac{\sigma_d}{\sigma_{red \text{ dyn}}} \quad (103)$$

$$k_d = \frac{360}{170} = 2,11$$

Vyhovuje

### 6.3.4 Kontrola podstavce v místě B – B

Rozměry (viz. Obrázek 6.2):

- Vnější průměr:  $D = 358 \text{ mm}$
- Vnitřní průměr:  $d = 240 \text{ mm}$

Modul průřezu  $W_b$

$$W_b = \left(\frac{\pi}{32}\right) \cdot \left(\frac{D^4 - d^4}{D}\right) \quad (104)$$

$$W_b = \left(\frac{\pi}{32}\right) \cdot \left(\frac{358^4 - 240^4}{358}\right)$$

$$W_b = 3594691,4 \text{ mm}^3$$

Ohybové zatížení  $\sigma_o$

- Statické

$$\sigma_{o \text{ stat}} = \frac{F_{r \text{ stat}} \cdot R_2}{W_b} \quad (105)$$

$$\sigma_{o \text{ stat}} = \frac{690000 \cdot 405}{3594691,4}$$

$$\sigma_{o \text{ stat}} = 77,7 \text{ MPa}$$

- Dynamické

$$\sigma_{o \text{ dyn}} = \frac{F_{r \text{ dyn}} \cdot R_2}{W_b} \quad (106)$$

$$\sigma_{o \text{ dyn}} = \frac{983000 \cdot 405}{3594691,4}$$

$$\sigma_{o \text{ dyn}} = 110,8 \text{ MPa}$$

## Kontrola bezpečnosti

- Dovolené napětí:  $\sigma_d = 360 \text{ MPa}$

- Statická bezpečnost  $k_s$

$$k_s = \frac{\sigma_d}{\sigma_{red \text{ stat}}} \quad (107)$$

$$k_s = \frac{360}{77,7} = 4,6 \quad \text{Vyhovuje}$$

- Dynamická bezpečnost  $k_d$

$$k_d = \frac{\sigma_d}{\sigma_{red \text{ dyn}}} \quad (108)$$

$$k_d = \frac{360}{110,8} = 3,24 \quad \text{Vyhovuje}$$

### 6.3.5 Kontrola podstavce v místě C – C

Rozměry (viz. Obrázek 6.2):

- Vnější průměr:  $D = 470 \text{ mm}$

- Vnitřní průměr:  $d = 420 \text{ mm}$

Modul průřezu  $W_b$

$$W_b = \left(\frac{\pi}{32}\right) \cdot \left(\frac{D^4 - d^4}{D}\right) \quad (109)$$

$$W_b = \left(\frac{\pi}{32}\right) \cdot \left(\frac{470^4 - 420^4}{470}\right)$$

$$W_b = 3693011 \text{ mm}^3$$

Ohybové zatížení  $\sigma_o$ 

- Statické

$$\sigma_{o \text{ stat}} = \frac{F_{r \text{ stat}} \cdot R_3}{W_b} \quad (110)$$

$$\sigma_{o \text{ stat}} = \frac{690000 \cdot 620}{3693011}$$

$$\sigma_{o \text{ stat}} = 115,8 \text{ MPa}$$

- Dynamické

$$\sigma_{o \text{ dyn}} = \frac{F_{r \text{ dyn}} \cdot R_3}{W_b} \quad (111)$$

$$\sigma_{o \text{ dyn}} = \frac{983000 \cdot 620}{3693011}$$

$$\sigma_{o \text{ dyn}} = 165 \text{ MPa}$$

Tlakové zatížení  $\sigma_p$ 

- Statické

$$\sigma_{p \text{ stat}} = \frac{F_s + (m_{kv} + m_v) \cdot g}{\frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4}} \quad (112)$$

$$\sigma_{p \text{ stat}} = \frac{60000 + (280 + 2900) \cdot 10}{\frac{\pi \cdot (470^2 - 420^2)}{4}}$$

$$\sigma_{p \text{ stat}} = 2,6 \text{ MPa}$$

- Dynamické

$$\sigma_{p \text{ dyn}} = \frac{F_d + (m_{kv} + m_v) \cdot g}{\frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4}} \quad (113)$$

$$\sigma_{p \text{ dyn}} = \frac{90000 + (280 + 2900) \cdot 10}{\frac{\pi \cdot (470^2 - 420^2)}{4}}$$

$$\sigma_{p \text{ dyn}} = 3,5 \text{ MPa}$$

Redukované zatížení  $\sigma_{red}$ 

- Statické

$$\sigma_{red\ stat} = \sigma_{o\ stat} + \sigma_{t\ stat} \quad (114)$$

$$\sigma_{red\ stat} = 115,8 + 2,6$$

$$\sigma_{red\ stat} \cong 118\text{MPa}$$

- Dynamické

$$\sigma_{red\ dyn} = \sigma_{o\ dyn} + \sigma_{t\ dyn} \quad (115)$$

$$\sigma_{red\ dyn} = 165 + 3,5$$

$$\sigma_{red\ dyn} \cong 170\text{MPa}$$

## Kontrola bezpečnosti

- Dovolené napětí:  $\sigma_d = 360\text{MPa}$

- Statická bezpečnost  $k_s$

$$k_s = \frac{\sigma_d}{\sigma_{red\ stat}} \quad (116)$$

$$k_s = \frac{360}{118} = 3,05$$

Vyhovuje

- Dynamická bezpečnost  $k_d$

$$k_d = \frac{\sigma_d}{\sigma_{red\ dyn}} \quad (117)$$

$$k_d = \frac{360}{170} = 2,11$$

Vyhovuje

### 6.3.6 Kontrola ložisek podstavce

Reakce na ložiscích

- Radiální

Statická:  $F_{r\,stat.} = 690\,kN$

Dynamická:  $F_{r\,dyn.} = 1007\,kN$

- Axiální (platí pouze pro horní ložisko)

Statická:  $F_{a\,stat.} = 92\,kN$

Dynamická:  $F_{a\,dyn.} = 114,2\,kN$

Horní ložisko: TIMKEN, 32972

Ekvivalentní zatížení:

radiální:  $P_r = 983\,kN$

axiální:  $P_a = 114,2\,kN$

Únosnost ložiska:

radiální směr:  $C_1 = 1223,2\,kN$

axiální:  $C_{90} = 249\,kN$

ložisko vyhovuje

Dolní ložisko: TIMKEN, HM 252343

Ekvivalentní zatížení:

radiální:  $P_r = 983\,kN$

Únosnost ložiska:

radiální směr:  $C_1 = 1223,2\,kN$

ložisko vyhovuje

## 7 Kontrola čepů a nosných ok podstavce

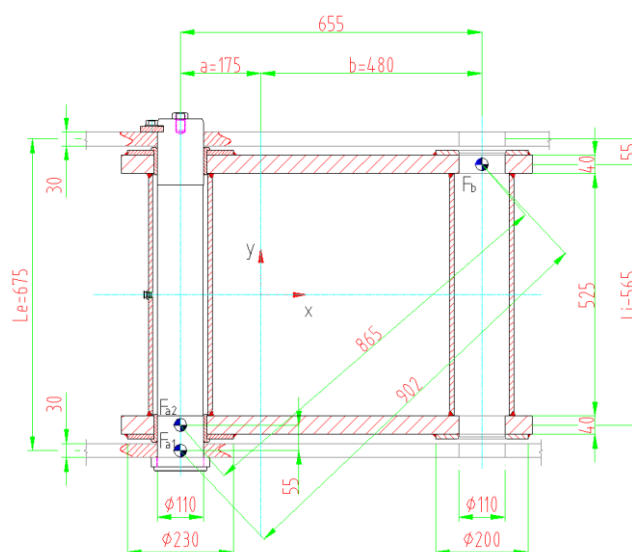
### 7.1 Parametry zatížení

Statické zatížení:	$F_s = 60 \text{ kN}$
Dynamické zatížení:	$F_d = 90 \text{ kN}$
Statický moment:	$M_s = 496 \text{ kN.m}$
Dynamický moment:	$M_d = 706 \text{ kN.m}$

### 7.2 Rozměry

(viz. Obrázek 7.1)

Rozteč mezi čepy:	$L_{\check{c}} = 570 \text{ mm}$
Rozteč mezi oky:	$L_e = 675 \text{ mm}$
Rozteč mezi oky:	$L_i = 565 \text{ mm}$
Diagonální rozteč mezi oky:	$L_s = 865 \text{ mm}$
Diagonální rozteč mezi oky:	$L_o = 902 \text{ mm}$
	$a = 175 \text{ mm}$
	$b = 480 \text{ mm}$



Obrázek 7.1

Řez podstavcem vedený skrze čepy

## 7.3 Výpočty

### 7.3.1 Reakce v čepích

#### Moment kolem osy X:

- $F_a$  dynamický

$$F_{a1\ dyn} = \frac{M_d \cdot b}{L_{\check{c}} \cdot L_e} \quad (118)$$

$$F_{a1\ dyn} = \frac{706 \cdot 0,48}{0,57 \cdot 0,675}$$

$$F_{a1\ dyn} = 881\ kN$$

- $F_b$  dynamický

$$F_{b\ dyn} = \frac{M_d \cdot a}{L_{\check{c}} \cdot L_i} \quad (119)$$

$$F_{b\ dyn} = \frac{706 \cdot 0,175}{0,57 \cdot 0,565}$$

$$F_{b\ dyn} = 384\ kN$$

#### Moment kolem osy Y:

- $F_a$  dynamický

$$F_{a1\ dyn} = \frac{M_d}{2 \cdot L_{\check{c}}} \quad (120)$$

$$F_{a1\ dyn} = \frac{706}{2 \cdot 0,57}$$

$$F_{a1\ dyn} = 619\ kN$$

- $F_b$  dynamický

$$F_{b\ dyn} = F_{a1\ dyn} \quad (121)$$

$$F_{b\ dyn} = 619\ kN$$



Moment kolem šikmé osy:

- $F_a$  statický

$$F_{a1 stat} = \frac{M_s}{L_o} + \frac{F_s}{2} \quad (122)$$

$$F_{a1 stat} = \frac{496000}{0,902} + \frac{60000}{2}$$

$$F_{a1 stat} = 580 \text{ kN}$$

$$F_{a2 stat} = \frac{M_s}{L_s} + \frac{F_s}{2} \quad (123)$$

$$F_{a2 stat} = \frac{496000}{0,865} + \frac{60000}{2}$$

$$F_{a2 stat} = 603,4 \text{ kN}$$

- $F_a$  dynamický

$$F_{a1 dyn} = \frac{M_d}{L_o} + \frac{F_d}{2} \quad (124)$$

$$F_{a1 dyn} = \frac{706000}{0,902} + \frac{90000}{2}$$

$$F_{a1 dyn} = 828 \text{ kN}$$

$$F_{a2 dyn} = \frac{M_d}{L_s} + \frac{F_d}{2} \quad (125)$$

$$F_{a2 dyn} = \frac{706000}{0,865} + \frac{90000}{2}$$

$$F_{a2 dyn} = 861 \text{ kN}$$

- $F_b$  statický

$$F_{b stat} = F_{a2 stat} \quad (126)$$

$$F_{b stat} = 603,4 \text{ kN}$$

- $F_b$  dynamický

$$F_{b dyn} = F_{a2 dyn} \quad (127)$$

$$F_{b dyn} = 861 \text{ kN}$$

### 7.3.2 Kontrola pevného čepu podstavce

Rozměry (viz. Obrázek 7.1)

- Průměr čepu:  $d_{\check{c}} = 110 \text{ mm}$
- Délka volného konce čepu:  $a_{\check{c}} = 55 \text{ mm}$
- Tloušťka ložiska:  $t = 40 \text{ mm}$

Parametry zatížení:

- Statické zatížení:  $F_s = 60 \text{ kN}$
- Dynamické zatížení:  $F_d = 90 \text{ kN}$
- Statický moment:  $M_s = 496 \text{ kN.m}$
- Dynamický moment:  $M_d = 706 \text{ kN.m}$

Modul průřezu  $W_{b\check{c}}$ :

$$\begin{aligned} W_{b\check{c}} &= \frac{\pi \cdot d_{\check{c}}^3}{32} \\ W_{b\check{c}} &= \frac{\pi \cdot 110^3}{32} \\ W_{b\check{c}} &= 130670,6 \text{ mm}^3 \end{aligned} \tag{128}$$

Napětí v ohybu  $\sigma_b$ :

- Statické

$$\begin{aligned} \sigma_{b \text{ stat}} &= \frac{F_{a1 \text{ stat}} \cdot a_{\check{c}}}{W_{b\check{c}}} \\ \sigma_{b \text{ stat}} &= \frac{580000 \cdot 55}{130670,6} \\ \sigma_{b \text{ stat}} &= 244 \text{ MPa} \end{aligned} \tag{129}$$

- Dynamické

$$\sigma_{b \text{ dyn}} = \frac{F_{a1 \text{ dyn}} \cdot a_{\check{c}}}{W_{b\check{c}}} \quad (130)$$

$$\sigma_{b \text{ dyn}} = \frac{828000 \cdot 55}{130670,6}$$

$$\sigma_{b \text{ dyn}} = 349 \text{ MPa}$$

Střihové napětí  $\tau_s$ :

$$\tau_{s \text{ stat}} = \frac{F_{a1 \text{ stat}}}{\pi \cdot d_{\check{c}}^2} \quad (131)$$

$$\tau_{s \text{ stat}} = \frac{580000}{\pi \cdot 110^2}$$

$$\tau_{s \text{ stat}} = 15,3 \text{ MPa}$$

Tlakové napětí  $\sigma_p$ :

- Statické

$$\sigma_{p \text{ stat}} = \frac{F_{a2 \text{ stat}}}{d_{\check{c}} \cdot t} \quad (132)$$

$$\sigma_{p \text{ stat}} = \frac{603400}{110 \cdot 40}$$

$$\sigma_{p \text{ stat}} = 137 \text{ MPa}$$

- Dynamické

$$\sigma_{p \text{ dyn}} = \frac{F_{a2 \text{ dyn}}}{d_{\check{c}} \cdot t} \quad (133)$$

$$\sigma_{p \text{ dyn}} = \frac{861000}{110 \cdot 40}$$

$$\sigma_{p \text{ dyn}} = 195 \text{ MPa}$$

Kontrola bezpečnosti:

Materiál čepu – 30CrNiMo8:

- Dovolené napětí [5]:  $\sigma_d = 1000 \text{ MPa}$

- Statická bezpečnost  $k_s$

$$k_s = \frac{\sigma_d}{\sigma_{b \text{ stat}}} \quad (134)$$

$$k_s = \frac{1000}{244} = 4,1$$

Vyhovuje

- Dynamická bezpečnost  $k_d$

$$k_d = \frac{\sigma_d}{\sigma_{b \text{ dyn}}} \quad (135)$$

$$k_d = \frac{1000}{349} = 2,86$$

Vyhovuje

- Statická bezpečnost v tlaku  $k_{ps}$

$$k_s = \frac{\sigma_d}{\sigma_{b \text{ stat}}} \quad (136)$$

$$k_s = \frac{1000}{137} = 7,3$$

Vyhovuje

- Dynamická bezpečnost v tlaku  $k_{pd}$

$$k_s = \frac{\sigma_d}{\sigma_{b \text{ stat}}} \quad (137)$$

$$k_s = \frac{1000}{195} = 5,12$$

Vyhovuje

### 7.3.3 Kontrola oka pro uložení ložiska

Kompletní kontrola byla provedena ve výpočtovém programu IMEP vytvořeném společností Huisman Equipment B.V. Do programu je potřeba zadat rozměry oka (viz. Obrázek 4.5) a dané zatížení. Výstupem z programu IMEP je tabulka s výslednými bezpečnostmi a maximálními napětími a síťové schéma deformace.

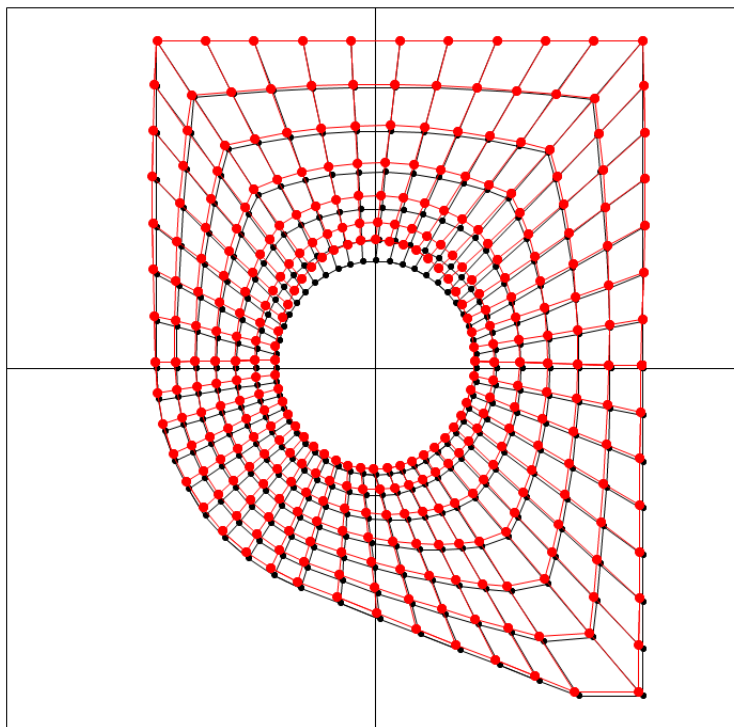
Program umožňuje kontrolu ok ve svislém směru, proto je třeba potřebné parametry zadávat s ohledem na tuto skutečnost.

Tabulka 7.1 Vstupní hodnoty pro výpočet v programu IMEP

Vstupní hodnoty		
geometrie	vnější rádius $R$ [mm]	140
	průměr otvoru $d$ [mm]	128
	tloušťka $t$ [mm]	40
	vertikální excentricita díry $e_v$ [mm]	0
	horizontální excentricita díry $e_h$ [mm]	0
	sklon okraje vlevo $\beta_L$ [°]	70
	sklon okraje vpravo $\beta_R$ [°]	0
	vzdálenost k okraji dole $d_B$ [mm]	170
	vzdálenost k okraji vlevo $d_L$ [mm]	0
	vzdálenost k okraji vpravo $d_R$ [mm]	0
zatížení	zatěžující síla [kN]	603
	úhel působení zatěžující síly [°]	90
	kontaktní úhel [°]	40
	omezení ze spoda 1...ano, 0...ne	0
	omezení z leva 1...ano, 0...ne	0
	omezení z prava 1...ano, 0...ne	1
síť	počet elementu na 90° vnitřního rádiusu	12
	počet elementů mezi rádiusy	6
	korekce hustoty sítě: 0=automatické, 1=rovnoměrné velikosti	1
ostatní	dovolené napětí materiálu [MPa]	690
	dovolené maximální napětí (hodnocení napětí na vnitřním rádiusu) [%]	100
	požadovaná bezpečnost [ - ]	1.5
	průměrné tlakové napětí [MPa]	117.8

Tabulka 7.2 Výsledky vypočtené programem IMEP

Výsledky	
maximální napětí - díra [Mpa]	7.0
maximální napětí - vnější rádius [Mpa]	64.0
maximální dovolené napětí [kN]	1177.6
maximální napětí - % dovolěného	1.0
bezpečnost - napětí v vnějším rádiusu [-]	10.78
bezpečnost - v tlaku [-]	5.86



Obrázek 7.2 Graf průběhu deformace – výstup z programu IMEP

Závěr:

Pevnostní kontrola v programu IMEP ukázala, že oka mají dostatečnou pevnost pro dané zatížení.

## 8 Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout řešení prodloužení servisního jeřábu na vrtné soupravě LOC 400. Hlavním požadavkem bylo prodloužení dosahu jeřábu o 1 metr při zachování nosnosti v celém dosahu. Na začátku práce jsem zpracoval krátké seznámení s vrtnou soupravou LOC 400.

Dále jsem zpracoval návrh změny konstrukce tak, že výložník je rozdělen na dvě části, přičemž kratší část se pro potřeby přepravy zaklopí do hlavní části. Při zaklopení kratší části pro přepravu vzniká problém s lany. Je potřeba zajistit, aby bylo rameno vůbec možné složit tak, aby délka lan zůstala ve složeném stavu stejná jako v rozloženém stavu. To jsem vyřešil návrhem jednoduchého systému, kdy jsou lana vedená skrze dvě kladky. (viz. Obrázek 3.4 a Obrázek 3.5). Dále jsem provedl kontrolu kratší části výložníku. Pro kontrolu ok pro připojení k delší části výložníku čepem jsem použil program IMEP vytvořený společností Huisman. Celkovou kontrolu metodou konečných prvků jsem provedl v programu Autodesk Inventor. Kratší výložník splňuje bezpečnostní požadavky stanovené normou API 8A [7] a je proto možné jej použít.

Delší část výložníku vychází z původní konstrukce, byla pouze upravená tak, aby bylo možné do ní zaklopit kratší část výložníku. Tuto konstrukci jsem také podrobil kontrole. Při kontrole metodou konečných prvků jsem zjistil, že část výložníku spojující výložník s hlavním nosným čepem splňuje bezpečnost pouze  $k_d=1,42$ , což je nedostatečné a proto při návrhu tohoto řešení výložníku bude potřeba navrhnout zpevněnou variantu.

Hlavní nosný čep jsem upravil pouze tak, aby vnější rozměr čepu v místě uložení hlavního nosného ložiska odpovídal požadavkům pro nasazení ložiska. Čep po úpravě splňuje bezpečnostní požadavky stanovené normou API 8A [7] a je možné jej také použít.

Při výpočtech jsem pracoval s literaturou uvedenou v příloze. Využil jsem také pomoci pracovníků společnosti Huisman Konstrukce s.r.o, se kterými jsem konzultoval řešení.

V poslední části jsem zpracoval výkresovou dokumentaci obsahující začlenění nové konstrukce jeřábu do stávající věže a výkres svařence kratší části výložníku.

Výsledkem této diplomové práce je návrh řešení jeřábu, který splňuje požadavky na prodloužení dosahu jeřábu a zároveň je ve složeném stavu zachována původní délka jeřábu.

## 9 Seznam použitých pramenů

1. Leinveber, J. – Vávra, P. *Strojnické tabulky*. Třetí doplněné vydání, Úvaly : Albra, 2006. 914 s. ISBN 80-7361-033-7
2. Boháček, F. a kolektiv *Části a mechanismy strojů. II, Hřídele, tribologie, ložiska*. Vyd. 1.. Brno : Vysoké učení technické, 1983. 214 s.
3. Jeřábek, K. *Metodika navrhování strojů*. 1. Vydání, Praha: Ediční středisko ČVUT v Praze, 1999. 119 s.
4. Jeřábek, K. – Helebrant, F. – Jurman, J. – Voštová, V. *Stroje pro zemní práce, Silniční stroje*. Opava: Grafis spol. s r.o., 1996. 468 s.
5. Polák, J. – Slíva, A. *Dopravní a manipulační zařízení III*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2005. 133s.
6. [http://prirucka.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/techprirI/tycovaocel/EN10083/Prehled\\_vlast\\_30CrNiMo8/](http://prirucka.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/techprirI/tycovaocel/EN10083/Prehled_vlast_30CrNiMo8/)
7. *API 8A – Norma pro vrtání a výrobu zdvihacích zařízení*. 4. Vydání, 2003 53 s.

## 10 Seznam výkresové dokumentace

DP-ZAW009-1 – ZAČLENĚNÍ JEŘÁBU DO STÁVAJÍCÍ VĚŽE

DP-ZAW009-2 – KRATŠÍ ČÁST VÝLOŽNÍKU – SVAŘENEC

DP-ZAW009-3 – KRÁLOVSKÝ ČEP

DP-ZAW009-4 – Kladka pro zajištění lan během převozu